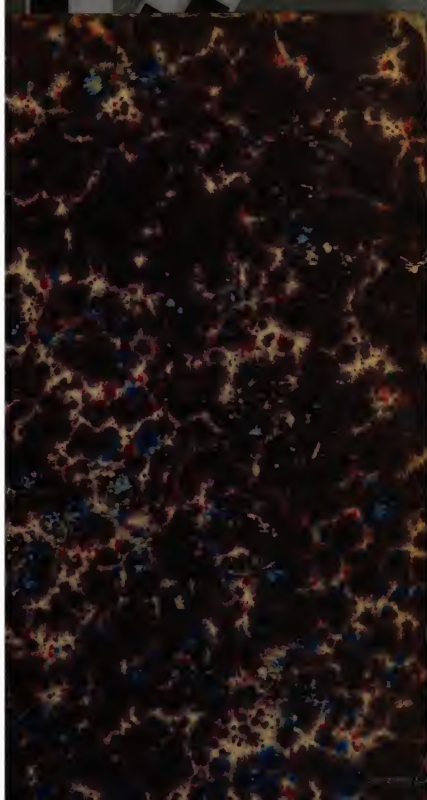






1







NOUVEAU PORTEFEUILLE
DE L'INGÉNIEUR
DES CHEMINS DE FER.



PARIS.—IMPRIMERIE ET LIBRAIRIE ADMINISTRATIVES DE PAUL DUPONT,
RUE DE GRENNELLE-SAINT-HONORÉ, 45 (Hôtel-des-Fermes).

NOUVEAU PORTEFEUILLE
DE L'INGÉNIEUR
DES CHEMINS DE FER

PAR

MM. AUGUSTE PERDONNET

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, PROFESSEUR A L'ÉCOLE CENTRALE
DES ARTS ET MANUFACTURES, ANCIEN INGÉNIEUR EN CHEF DE PLUSIEURS CHEMINS DE FER,
MEMBRE DU COMITÉ DE DIRECTION DES CHEMINS DE FER DE L'EST;

ET CAMILLE POLONCEAU

ANCIEN DIRECTEUR DES CHEMINS DE FER D'ALSACE, INGÉNIEUR EN CHEF, RÉGIMENTAIRE
DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION DU CHEMIN DE FER D'ORLÉANS.



DOCUMENTS.

PARIS

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE-INDUSTRIELLE ET AGRICOLE
DE LACROIX-COMON,

45, QUAI-MALAQUAIS.

1857.



NOUVEAU PORTEFEUILLE

DE L'INGÉNIEUR

DES CHEMINS DE FER

DOCUMENTS

TRANCHÉE DU DOCKEMBERG

Pl. A, 2, 3,

à 9 kilom. de Belfort (chemin de Mulhouse).

M. Mahiels, chef du service des travaux.

Le cube total de cette tranchée est de 251,189^{m3}.

Aux deux extrémités, jusqu'à ce que le déblai ait atteint une hauteur de 2^m,50, on trouve un terrain argileux, grisâtre, ayant peu de consistance, et très-aquifère.

Au point culminant, on trouve jusqu'à 3^m sous sol de l'argile jaune très-consistante, à laquelle succède un banc d'argile plastique de même épaisseur, contenant de petites veines d'argile à lignites.

Ensuite, on rencontre sur une épaisseur d'environ 4^m l'argile grise de la molasse, à laquelle succèdent, jusqu'au fond de la tranchée, des bancs de grès de la molasse alternant avec des couches de sable fin très-aquifère.

La coupe géologique suivant l'axe, fig. 3, pl. A, 2, 3, indique la nature des terrains traversés.

Le cube à transporter dans le bassin vers Paris est de

Juillet 1886.
Cube total.

Nature
des terrains.

Coupe géologique
sur l'axe.

Cube à enlever par
chacune des ex-
trémités.

La projection horizontale représente le commencement des neuf attaques qui ont été organisées simultanément.

On transporte par jour vers Paris un cube de 250 à 300 mètres cubes. S'il était nécessaire de faire plus, la chose serait très-possible; mais cette quantité est suffisante et peut permettre d'arriver en temps utile.

Cube transporté
journalièrement,

De préférence, on porte les forces au mamelon, afin d'en activer le dégagement.

Le transport en dépôt varie suivant le nombre d'ouvriers qu'il est possible de réunir; lorsque la brigade est au complet, on transporte 1,000^{m3} par jour à la distance de 200 mètres.

On emploie à l'attaque vers Paris 20 wagons; à la mise en dépôt, 130 wagonnets.

Nombre et contenance des wagons employés.

Les wagons portent moyennement 3^m,20 de déblai foisonné et 2^m,60 de vide mesuré en tranchée.

Les wagonnets portent moyennement 0^m,60 de déblai foisonné et 0^m,45 de terre, cube mesuré au déblai.

Le prix moyen pour fouille et charge, décharge, frais de cuvette, de rigole, d'assainissement, en observant que jusqu'ici le travail s'est effectué dans les argiles, et que l'on arrive seulement à l'affleurement des bancs de grès de la molasse, terrain qui nécessitera l'emploi de la pince ou de la poudre, se décompose ainsi :

Prix moyen pour fouille et charge.

Prix déterminé sur un cube de 106,000^{m3} 0 fr. 77 c.

Prix moyen de transport.

Le prix pour transport, y compris pose de voies de service et entretien, dépréciation, entretien et graissage du matériel, manœuvre des aiguilles, manœuvre de formation des trains. 0 62

Pour frais d'établissement, de logements d'ouvriers, de forge et écuries à proximité de la tranchée, frais de surveillance et d'administration se rattachant à la 6^e division seulement, 1/10^e. 0 14

Dépense totale par mètre cube, à l'exception des frais généraux et faux frais de la direction des travaux. 1 fr. 53 c.

Il importe de faire remarquer que maintenant le prix de la main-d'œuvre est tellement élevé, qu'il n'est plus possible aujourd'hui de faire exécuter *la fouille et charge*, seulement dans les terrains argileux *les plus faciles à déblayer*, à moins de 0 fr. 60 c. le mètre cube.

TRANCHÉE DE MONTAIGU

Pl. A, 2, 3.

à 8 kilom. est de Vesoul (chemin de Mulhouse).

M. Lavaurs (Eugène), chef du service des travaux.

Juillet 1896.
Cube total.

Le cube total de cette tranchée est de 116,000^m, en comptant sur des talus à 45° avec banquettes de 1^m de largeur à chaque hauteur de 3^m. Déjà l'on a reconnu l'impossibilité de maintenir les talus aussi raides; ils devront avoir 2 de base pour 1 de hauteur à droite, et 1 1/2 de base pour 1 de hauteur à gauche. On devra toutefois continuer à compter sur la première hypothèse de talus à 45° et d'un cube de 116,000^m.

Nature
des terrains.

Les terrains, composés d'une masse de marnes bleues médiocremont consistantes, quoique très-dures, sont recouverts d'une couche de marne jaunâtre facilement éboulante et très-humide. Des travaux de drainage, depuis longtemps reconnus indispenables, sont commencés. Ils consistent en une saignée pratiquée à l'amont de la tranchée, à 4 ou 5^m de l'arête du talus, et descendant à 0^m,50 ou 0^m,60 en dessous des couches mouillées. Une pierrée rigolée de 0^m,50 d'épaisseur, et de 1^m à 1^m,20 de hauteur, est destiné à recevoir les eaux et à les diriger vers les points de passage. Cette pierrée est recouverte d'un gazon pris à plat (l'herbe en dessous) pour l'empêcher de se remplir, et la fouille entière remplit des

terres qui en sortent, et que l'on pilonne soigneusement, surtout jusqu'à l'épaisseur de la pierrée.

Des puits de sonde, descendus sur l'axe, de 2^m de côté, indiquent une première couche de 1^m,50 de terre végétale, puis une couche de marne jaune très-humide, de 1^m10 d'épaisseur, et enfin la marne bleue, noire, infecte.

Le cube à transporter vers Paris, avec pente est de	29,000 ^m	Cube à transporter et distance moyenne du transport, °
Celui à transporter vers Mulhouse, avec rampes.	87,000 ^m	
TOTAL.....	116,000 ^m	

La distance moyenne du transport sera d'environ 500^m.

Tout sera employé en remblais utiles, d'autant plus que, du côté de Mulhouse, le terrain naturel est essentiellement compressible, qu'il se déplace sous le poids des terres qu'on y apporte, et qu'un cube notable de remblai se trouve perdu, soit en prenant la place du sous sol, soit en sortant des profils à l'état de boue coulante.

La tranchée est attaquée des deux côtés, moins vigoureusement toutefois du côté de Paris que du côté de Mulhouse, puisque dans cette attaque, où il y a d'ailleurs beaucoup moins à faire qu'à l'autre, on devra enlever encore le cube assez important qui restera sous les rampes de celle-ci. Du côté de Paris, les voies sont à la hauteur de la plate-forme, et suivent la pente de 0^m,005 du projet. L'abatage en grand se fera à partir de 2^m,50 ou 3^m au-dessus de la plate-forme; seulement, sur la largeur de la tranchée à cette cote, et en avancement de la cunette de fond, qui marche sur une largeur de 3^m environ, et sur une hauteur de 2^m,50 à 3^m, comme il est déjà dit, deux voies de décharge suffisent, avec une demi-lune ou voie de garage à 50 ou 60^m de cette décharge. Puis, la voie unique de parcours, et à 75^m environ de la charge une autre voie de garage. De là, la voie principale entre dans la cunette de fond, et deux voies latérales s'en détachent pour prendre les talus. Ainsi disposé, le chantier ne saurait être complètement arrêté par les éboulements qui peuvent survenir et survien-

Organisation des
travaux.

nent assez fréquemment. Du côté de Mulhouse, pour faciliter la traction et se débarrasser des eaux, la voie est établie avec une pente de 0^m,01, au lieu d'être, suivant le projet, sur une rampe de 0^m,005. La disposition des voies est sensiblement la même quo celle de l'autre côté. Seulement, quand de grands éboulements se sont produits au-dessus des marnes bleues, des échafaudages ont été dressés au pied du talus, et une voie spéciale est venue passer sous ces échafaudages, pour porter la charge des terres détrempées à la brouette.

Au commencement, la seule cunette d'avancement a été exécutée (coupe A) jusqu'à ce qu'on fût arrivé à une hauteur d'environ 3^m. A ce moment, on a commencé à battre en grand, mais seulement suivant la vorticale et jusqu'à la rencontre du talus (coupe B), en ayant soin de dégager aussi bien devant la cunette que sur les côtés. Tout le produit de cette attaque se charge en brouetto. Ce n'est quo plus tard, et lorsqu'on a eu un certain avancement que, (coupe C) l'on a établi les voies latérales (x-x) destinées à ramasser le talus.

Après une sécheresso, quand il ne s'agit pas d'onlever les produits des éboulements, l'attaque du côté de Paris fait, moyennement, 150^m ³ de déblais quo l'on transporte à 400^m, et celle du côté de Mulhouse à 240^m ³ à 300^m de distance; en tout, 390^m ³. On obtiendrait les mêmes résultats, avec les mêmes moyens, à 600^m de distance. Il y a des circonstances, au contraire, quand les terres sont détrempées, quo les voies s'affaissent, que la piste est mauvaise, et qu'il faut reprendre des éboulements, où le cube exécuté est presque insignifiant. Du côté de Mulhouse, un grand nombre d'hommes travaillent régulièrement, plusieurs heures chaque nuit, à relever les voies qui tassent, moyennement, de 0^m75 à 1^m,20 en 24 heures, et cela depuis le commencement.

Wagons employés. Les wagons employés sont, pour la plupart, du système anglais, à l'exception de quelques wagons à bascule de côté pour remplir l'entre-voie et compléter les talus. Avec des terrains si difficiles, il eût été fréquemment impossible de tra-

vailler si l'on n'avait eu que des wagons de côté. Il y a 15 wagons du côté de Paris et 24 du côté de Mulhouse. Chaque wagon va, moyennement, cinq fois à la charge par jour de bon travail : ils sont d'une contenance de 3^m,11 dans la caisse; mais on ne saurait supposer qu'ils enlèvent plus de 2^m de déblai.

Le prix alloué au tâcheron est de 0 fr. 90 par fouille, charge, dressement de talus en déblais, pose et entretien des voies, fourniture d'outils, et tous frais de main-d'œuvre généralement quelconques. Mais il ne pourrait s'en retirer à ces conditions, et l'entreprise doit lui venir en aide, soit en lui faisant des avances dans lesquelles elle aura sans doute beaucoup de peine à rentrer, soit en lui payant des plus-values pour des dépenses accessoires faisant néanmoins partie de son entreprise.

Prix de main-d'œuvre.

Le prix pour transport est de 0 fr. 25 pour constante, et 0 fr. 25 du relais de 100^m.

En comptant les frais généraux et faux frais, la fourniture et la dépréciation du matériel, les secours que l'entreprise devra porter au tâcheron, la surveillance ou la direction, etc., etc., il faut compter que la tranchée de Montaigu achevée aura coûté 1 fr. 65 ou 1 fr. 75 le mètre cube de déblai, non compris les frais généraux et les faux frais inhérents à la direction des travaux.

Il est bon d'ailleurs de faire remarquer ici qu'à part deux exceptions (tranchées de Coulevon dans le rocher ferme), toutes les tranchées comprises entre Vesoul et Genevreville sont au moins aussi difficiles et aussi chanceuses que celles de Montaigu (il n'est pas question ici des petites tranchées de Saulx, qui sont dans le schiste solide, mais qui n'ont pas d'importance). Il y a, vers Colombiers, des tranchées beaucoup plus mauvaises que Montaigu, beaucoup plus inquiétantes, quoique bien moins considérables.

TRANCHÉE DE JESSAINS

Pl. A, 2, 3,

à 12 kilom. de Bar-sur-Aube (chemin de Mulhouse).

M. Picard, chef du service des travaux.

Juillet 1896.

La longueur totale de cette tranchée est de 917^m.

Cube total.

Le cube total prévu était de 225,000^m, les talus étant supposés à 45°; mais la nature du terrain généralement solide, permet de modifier l'inclinaison des talus. Le cube total fut ainsi réduit à 192,000^m.

Nature
des terrains.

Les déblais ont été ouverts dans le terrain appartenant à l'étage supérieur de la formation jurassique; on trouve au-dessus une couche d'alluvion formée de deux tranches parallèles au sol : l'une d'elles est un mélange de terre et pierraille qui a un peu coulé vers l'est, ainsi que l'indique la fig. 1; l'autre est un tuf d'une grande dureté. Les couches inférieures sont sensiblement parallèles et présentent une inclinaison de 1^m environ en se retirant vers Paris. Elles sont divisées par bancs de 1^m,20 environ, hauteur moyenne; ce sont des calcaires d'une grande dureté.

L'épaisseur de la terre végétale est à peu près nulle.

Coupe des puits
de sonde sur
l'axe.

La coupe géologique sur l'axe donne les résultats suivants :

	Hauteur maxim.
Diluvium	1 ^m ,750
Terrain jurassique	16 ^m ,969
	18 ^m ,719.

Les terrains se subdivisent ainsi :

Terre et pierraille, à la pioche . . .	0 ^m ,50	18 ^m ,719.
Tuf grisâtre, à la mine	1 ^m ,25	
Pierre tendre, à la pince	1 ^m ,50	
Pierre trouée, à la mine	13 ^m ,869	
Pierre franche, à la mine	0 ^m ,60	

Co qui donne en résumant :

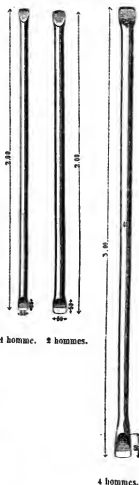
Déblai à la pioche	0 ^m ,500
Déblai à la pince	1 ^m ,500
Déblai à la mine	16 ^m ,719.

On s'est servi dans cette exploitation, de barres à mine de diverses dimensions, représentées ci-contre; elles étaient maniées : les plus petites par un homme, les moyennes par deux hommes et les plus fortes par quatre hommes.

Dans le tuf et la pierre franche, les trous de mine ont été faits avec la barre à mine à un seul homme ;

Dans le calcaire troué, on s'est servi de la barre à mine à deux hommes. On a employé dans ce terrain, avec assez de succès (les moyens ordinaires ne produisant aucun effet) des cartouches en tôle du diamètre du trou (0^m,05) et bouchées à la partie supérieure par un tampon en bois.

Barres à mine.



Cartouche en tôle.

Enfin, quand les circonstances le permettaient, on se servait

avec avantage de la barre à mine à quatre hommes; c'était généralement lorsqu'un banc de calcaire troué reposait sur un banc de pierre franche; on perçait entièrement la première couche avec la barre à deux hommes, puis l'on continuait à forer avec la barre à quatre hommes; la poudre, logée ainsi dans une partie vive du second banc, produisait un effet utile, plus considérable.

Pour mieux faire saisir l'ensemble de ces diverses manières d'opérer, on a indiqué dans le tableau ci-dessous les résultats obtenus.

NUMÉROS des barres à mine.	DIAMÈTRE.	LONGUEUR.	POIDS.	LARGEUR en biseau.	NOMBRE d'ouvriers	POIDS de la poudre par mètre de	PRIX par mètre de forage.
Barre n° 1.	0 ^m ,027	2 ^m	8 ^k 90	0 ^m ,035	1	0 ^k 820	0 ^f 80
Barre n° 2.	0 ^m ,035	2	14 90	0 ^m ,060	2	1 680	1 20
Barre n° 3.	0 ^m ,040	3	29 30	0 ^m ,060	4	2 420	1 50

Cube à enlever par
chaque des ex-
trémités.

La tranchée ayant un cube considérable et le terrain étant d'une extraction difficile, on a dû, pour la prompte exécution du travail, diviser cette tranchée en deux parties sensiblement égales. Cette division en deux tranchées distinctes, que nous nommons *tranchée côté Paris*, *tranchée côté Mulhouse*, a fait modifier le mouvement des terres, dont la plus grande partie, d'après le projet primitif, devait aller vers Mulhouse, savoir :

Cube vers Paris..... 40,000^m
— Mulhouse..... 152,000

En admettant que le point de jonction des tranchées, telles que nous les considérons, soit au piquet 22, on trouve les résultats suivants :

Cube vers Paris..... 90,000^m
— Mulhouse..... 102,000

De ce dernier cube, il faut retrancher 6,000^m mis en dépôt, ce qui donne définitivement :

Cube vers Paris.....	90,000 ^m	
— Mulhouse.....	96,000	
La distance moyenne, côté de Paris, est de.....	550 ^m	Distance moyenne des transports.
— côté de Mulhouse, est de...	900	

Ces distances se rapportent au dernier mouvement des terres adopté.

Ainsi qu'il a été dit plus haut, le cube mis en dépôt est d'environ 6,000^m. Cube mis en dépôt.

Les deux tranchées furent attaquées à deux étages. Organisation des travaux.

Du côté de Paris, on a suivi une rampe de 0^m,01 par mètre, se raccordant avec la ligne du projet à 21^m du piquet 15.

Du côté de Mulhouse, on fut obligé d'adopter, pour point de départ de la rampe, le point de passage de la tranchée, pour ne pas interdire un chemin passant à niveau. On s'éleva de 0^m,022 par mètre, comme l'indique la fig. 9, pl. A, 2, 3.

On attaqua d'abord à la brouette jusqu'à une distance de 100^m ;

Puis au wagonnet, et l'on commença l'ouverture de la cunette ;

Vint ensuite l'attaque au wagon et le percement de la cunette.

1° L'attaque à la brouette n'a rien présenté de remarquable ; on s'est servi de brouettes terrassières ordinaires, et le roulage s'est effectué au moyen de planches : Modes d'attaque.
1° à la brouette.

Cube enlevé du côté de Paris.....	1,200 ^m	
— de Mulhouse.....	500	
TOTAL.....	1,700 ^m	

On est ainsi parvenu aux distances suivantes, à partir des points de passage :

Côté Paris, distance des déblais.....	70 ^m
— — de remblai.....	35
Côté Mulhouse, distance du déblai.....	60
— — du remblai.....	55

2^e au wagonnet. Ayant atteint les distances qui viennent d'être indiquées, il devenait utile de recourir au wagonnet.

Côté Mulhouse. Voici la marche qui a été adoptée. On dispose une première voie A A sur le plan incliné, dont la pente est de 0^m,022; sur cette voie roule un wagonnet qui se charge en cunette; l'attaque a lieu sur une largeur de 3^m,05. Immédiatement au-dessus, à une hauteur de 2^m, on forme une seconde attaque. On met en charge un second wagonnet dont le roulage s'effectue sur une banquette de 1^m de largeur, et qui vient se raccorder avec le plan principal d'attaque dont on vient de parler. Appelons B B la voie posée sur cette tranchée : comme la hauteur à déblayer serait trop considérable pour atteindre le sommet de la tranchée, on imagina un second plan se raccordant avec le premier plan incliné à 20^m du piquet 24, et s'élevant avec une pente de 0^m,04 par mètre. On ménagea une banquette pour poser la voie C C. On mit ainsi en charge deux wagonnets sur une plate-forme de 10^m de longueur et de 5^m,25 de largeur, immédiatement en arrière de la seconde attaque. Une quatrième attaque D a été effectuée au moyen d'une seconde retraite et d'une banquette auxiliaire venant rejoindre le dernier plan incliné.

On obtint la disposition suivante :

Plan incliné à 0 ^m ,022.	Attaque A, 1 wagonnet, largeur de la plate-forme.....	3 ^m ,25.
	Attaque B, 1 wagonnet, largeur de la plate-forme.....	4 ^m ,25.
Plan incliné à 0 ^m ,04.	Attaque C, 2 wagonnets, largeur de la plate-forme.....	5 ^m ,25.
	Attaque D, 2 wagonnets, largeur de la plate-forme.....	6 ^m ,25.

Pour expliquer la marche de ces wagonnets, il faut supposer l'attaque arrivée en déblai et en remblai à une distance de 300^m du point de passage.

Prenons la voie AA : un wagonnet est en charge ; 100^m plus loin se trouve une plate-forme en planche, telle qu'on puisse y retrainer un wagonnet semblable au premier (il y a cinq relais analogues), le wagonnet une fois chargé sort poussé par un rouleur, qui le conduit au second rouleur ; là, il reprend un wagonnet vide et le ramène à la charge. Pendant ce temps, le wagonnet plein poursuit son chemin jusqu'à la décharge, changeant de rouleurs autant de fois qu'il y a de relais.

La même méthode est suivie pour les autres voies.

Il y a seulement à remarquer que les quatre roulages de la charge viennent aboutir à une plate-forme commune, d'où les wagonnets pleins sont poussés sur une voie de décharge, et, au retour, les wagonnets vides suivent une seconde voie parallèle à la première F.

Dans ce mode d'attaque, il y avait sur chaque voie le nombre de wagonnets suivants :

Voie A.....	6 wagonnets.
— B.....	6 —
— C.....	12 —
— D.....	12 —
TOTAL.....	36 wagonnets.

Côté Paris. — Une méthode analogue a été suivie : la hauteur étant moins grande, on a été amené à n'avoir que trois attaques, et, par suite, trois roulages : deux ont été effectués avec un plan de 0^m,01, et le troisième a suivi un plan de 0^m,030 ; on a eu deux relais en déblai, un seul en remblai.

Le nombre de wagonnets sur chaque voie était de :

Voie A.....	4 wagonnets.
— B.....	4 —
— C.....	8 —
TOTAL.....	16 wagonnets.

La distance de transport pour le wagonnet a été de 600^m du côté de Mulhouse, tant en déblai qu'en remblai. Si cette tranchée avait été une tranchée ordinaire, on n'aurait pas adopté ce mode de transport à une distance aussi considérable. Mais, si l'on remarque que le terrain monte avec une grande rapidité, on voit qu'il était important de pousser la cunette, afin d'avoir un front d'attaque plus étendu.

3^o Attaque au wagon.

Les distances indiquées pour l'attaque au wagonnet, à partir des points de passages, ont été les distances maximum. Au delà, on s'est servi de wagon. Pour expliquer cette attaque, prenons le chantier tel qu'il est disposé à l'époque actuelle.

Côté Paris. — Une partie du massif déterminé par l'intersection d'un plan incliné à 0^m,074 et par les profils, reste encore à enlever.

Ce massif présente trois retraites successives, ainsi que l'indique la fig. 9. Prenons l'attaque le matin : les wagons ont été tous déchargés, de sorte qu'il n'y a sur le chantier que des wagons vides et des wagons en charge. Il y a trois voies principales : 1^o la voie AA ; 2^o la voie BB ; 3^o la voie CC ; le nombre total des wagons est de 62. Sur ces 62 wagons, 2 en moyenne sont en réparation, nous n'en tiendrons pas compte ; nous avons la disposition suivante :

12 wagons sur la voie BB, à moitié chargés ;

6 — AA, chargés au quart ;

4 — CC, également chargés au quart ;

16 wagons vides sont remisés sur la voie A, en arrière du point de rencontre de la voie AA et de la voie BB, 6 wagons vides sont aussi remisés sur la voie AA, en arrière de la voie de garage K.

Quand les 12 wagons placés sur la voie BB sont complètement chargés, on les rapproche, ils démarrent au moyen de chevaux. Par suite de l'inclinaison du plan, ils se rendent, par la vitesse acquise jusqu'au piquet 16.

Le grand avantage de ce mode de transport est celui-ci :

pendant que les wagons descendent seuls et suivent le plan incliné, les chevaux qui les ont démarrés se trouvent libres, s'attèlent aux wagons vides et les amènent à leur point de chargement. Ils descendent ensuite, viennent reprendre les wagons qui se sont arrêtés au piquet 16, et les conduisent à la décharge, qui a lieu au moyen de chevaux de lance.

Les wagons pleins ont suivi le chemin BB.D.C.A ; les wagons vides ont suivi de leur côté la voie AB.B.

Les 6 wagons placés sur la voie AA et les 4 wagons placés sur la voie CC se remplissent à leur tour et se rendent à la décharge en suivant les premiers le chemin AKBDCAA, les seconds le chemin CCAA ; ils sont remplacés d'un côté par les 4 wagons qui restent des 16 se trouvant sur la voie A, de l'autre, par les 6 wagons remisés en arrière de la voie K.

Pendant ces manœuvres, la décharge des premiers wagons a eu lieu, ils reviennent à leur poste primitif, et ainsi de suite, jusqu'à la fin de la journée.

Trois attelages suffisent à ces manœuvres, chacun d'eux se composant de trois chevaux attelés en flèche, il faut ajouter deux chevaux de lance.

Outre ces attaques, il faut se mettre à profondeur définitive, et, par conséquent, percer une seconde cunette ; pour cela, on a suivi la même marche que celle adoptée pour percer la cunette de l'attaque supérieure. On a établi une voie principale FF avec une voie de garage GG. 8 wagons sont en charge : 3 prennent les côtés, les 5 autres enlèvent les terres, en s'enfonçant parallèlement à l'axe du projet. Le wagon de l'extrémité se charge directement avec les pierres du fond, que l'on jette à la main ou à la pelle ; le second wagon se charge avec les pierres que l'on prend sur une partie en retraite de 7^m de longueur et de 3^m,50 de largeur ; un ouvrier les roule avec une brouette sur des madriers posés sur une banquette de 0^m,50 de large et avec un pont de service provisoire, et vient les jeter dans le wagon.

Il y a aussi quatre retraits étagés l'une à la suite de l'autre, ce qui donne en tout 5 wagons en charge pour la cunette.

Quand les wagons sont pleins, ils vont à la décharge par la voie FF, et sont remplacés par 8 autres wagons remisés sur la voie GG; c'est une attaque séparée et distincte qui n'a presque aucun point commun avec l'autre, si ce n'est la voie de décharge.

Un mode d'attaque identique a été suivi pour le percement de la première cunette dont il a été parlé. La voie AA remplaçait la voie FF; les seules différences qui existent ne portent que sur des détails tenant à une hauteur plus grande.

Côté Mulhouse. — Du côté Mulhouse, on a enlevé une partie du massif déterminé par les profils définitifs et par un plan incliné de 0^m,022. Ce massif a été attaqué au moyen de deux voies principales AA BB. Il y avait 56 wagons; comme dans la marche habituelle des travaux, on peut supposer que 2 sont constamment en réparation, il reste 54 wagons pour les terrassements à effectuer. 13 wagons sont sur la voie AA, 7 wagons sur la voie BB, 19 wagons sont remisés sur la voie de garage D. Le convoi A étant plein, il démarre et se rend seul par l'effet de la gravité jusqu'au piquet 25. 13 wagonnets vides le remplacent immédiatement. Les wagons servent à faire les terrassements de la station, et se déchargent tous de côté sur la voie BB ou sur la voie AA. Les deux voies sont ripées au fur et à mesure de l'avancement des travaux.

L'attaque de la cunette servant à mettre le déblai à la hauteur définitive a lieu par la même méthode que pour le côté Paris.

Coupes transversales.

Les profils en travers, fig. 2, indiquent l'état d'avancement du travail à différentes époques.

Nombre de wagons.

Le nombre de wagons employés est de :

Attaque côté Paris.....	62
— Mulhouse.....	56
TOTAL.....	118

Ces wagons ont été calculés pour une contenance de 3^m. Ce sont des wagons à consoles, pouvant se basculer par devant et de côté. Le cube des déblais qu'ils emmènent à chaque voyage est seulement de 1^m,80. La grande différence que l'on remarque vient du foisonnement qui est énorme, et ensuite de la nature des pierres, qui se disposent souvent en voûtes, laissant des vides que l'on ne saurait éviter.

En admettant une moyenne de vingt-cinq jours de travail par mois, voici les résultats qui sont obtenus :

Cube transporté quotidiennement.

ÉPOQUES des TRANSPORTS.	COTÉ PARIS.			COTÉ MULHOUSE.		
	CUBE transporté jour- nellement.	DISTANCE moyenne de transport.	MODE de transport.	CUBE transporté jour- nellement.	DISTANCE moyenne de transport.	MODE de transport.
Février....	22 ^m	19 ^m	Brouette.	310 ^m	30 ^m	Brouette.
Mars.....	211	52	—	400	52	—
Avril.....	233	75	—	460	137	Wagonnet.
Mai.....	450	112	Wagonnet.	600	162	—
Juin.....	500	150	—	625	300	—
Juillet....	520	115	Wagon.	470	115	Wagon.
Août.....	530	135	—	500	128	—
Septembre..	630	150	—	725	150	—
Octobre....	650	180	—	754	180	—
Novembre..	750	184	—	776	194	—
Décembre..	808	206	—	810	200	—
Janvier....	962	215	—	830	216	—
Février....	1,180	242	—	1,200	242	—
Mars.....	1,456	272	—	1,350	272	—
Avril.....	1,517	296	—	1,412	287	—
Mai.....	1,553	320	—	1,500	320	—
Juin.....	1,830	425	—	1,845	315	—

En prenant les moyennes des prix de revient des différents mois de travail, voici les nombres que l'on peut admettre par mètre cube :

Prix moyen pour fouille et charge.

Fouille et charge et cassage des blocs.	1 ^f	20	} 2 ^f 75
Mineurs.....	»	60	
Poudre.....	»	95	

	<i>Report</i>	2 ^f 75	} 2 ^f 94
	Mèches.....	» 05	
	Cartouches.....	» 02	
	Forges et ateliers.....	» 12	
Prix moyen pour transport.	Une fois le wagon mis en marche pour se rendre à la décharge, voici les dépenses qu'entraîne ce mouvement par mètre cube :		
	Grand parcours, chevaux.....	» 25	} » 89
	Entretien, pose et ripage des voies...	» 12	
	Décharge et lance.....	» 25	
	Tréteaux, madriers de roulage, etc...	» 07	
	Dépréciation des wagons.....	» 20	
	TOTAL.....	3 ^f 83	
	A ajouter 20 p. 0/0 frais généraux.....	» 78	
Dépense totale.	La dépense totale est de.....	4 ^f 61	

TRANCHÉE DE CHARMOILLE

Pl. A, 4, 5.

A 5 kilom. de Vesoul (chemin de Mulhouse).

M. Naille, chef du service des travaux.

Juillet 1886.

Cube total.

1° Le cube total de la tranchée sera de 260,000^m et les remblais seront complétés par un emprunt de 82,000^m, qui, d'abord, devait être pris en élargissement dans la tranchée;

2° La terre végétale a une hauteur de 0^m,30 à 0^m,40, puis on rencontre des marnes jaunâtres, dont la couche varie de 1^m à 3^m, et tout le reste de la tranchée se compose de marnes très-dures, bleues et compactes, qui ne peuvent être attaquées qu'à la mine, et sont plus difficiles à extraire que le rocher;

Coupe des puits de sonde

3° La coupe des puits de sonde est indiquée sur le profil en long, fig. 1;

Organisation des travaux.

4° Tout le cube de la tranchée doit être porté en remblai d'un seul côté (Mulhouse);

5° Tout le cube des déblais est porté en remblais utiles (pas de dépôt);

6° La tranchée est exécutée au moyen de wagons, et l'entrée vers Mulhouse en est très-évasée. La cunette se fait sur toute la hauteur à la fois et pour une seule voie, c'est-à-dire que tous les déblais sont chargés au fond même de la tranchée et 20 à 25 wagons sont en charge à la fois; 4 wagons sont chargés par l'avancement de la cunette et par des brouettes qui roulent sur des rampes ou madriers. Les autres wagons sont chargés par l'élargissement qui se fait au fur et à mesure de l'avancement. Une banquette de 2^m ou environ est ménagée au-dessus des wagons en charge, et un plancher est établi et couvre presque les wagons qui sont chargés directement. La tranchée sera achevée au moyen de deux voies, qui seront latérales à celle de la cunette, de sorte qu'il y aura trois voies dans le fond, et que le travail ne changera point d'aspect pendant toute la durée. Cependant, malgré ces précautions, on n'aurait pu enlever ce cube assez rapidement; c'est alors qu'a été creusé un puits au profil 24 et ouvert une galerie souterraine au niveau de la plate-forme du chemin, ce qui devait permettre d'arriver à charger par ce puits des wagons introduits par la galerie;

7° Les coupes transversales changent peu ou point (fig. 3, pl. A, 4, 5);

Coupes
transversales.

8° Le cube exécuté aujourd'hui est d'environ 110,000^m. Celui fait quotidiennement est très-variable et suivant les difficultés. Ainsi, les jours de pluie et quand le sol est détrempé, il est presque impossible de travailler, et avec le même nombre d'ouvriers, le chiffre varie de 200 à 600^m³. La distance des transports est aujourd'hui de 1,250^m; on commence à faire les transports avec une locomotive, et il est à présumer que, dans peu, l'on fera 800^m cubes par jour;

9° Le nombre de wagons employés est de 120, et le cube de chaque wagon est de 3^m. Mais on ne doit pas admettre que chaque wagon transporte plus de 1^m,60 à 1^m,80 de déblai, en

égard au foisonnement et aux wagons qui ne se trouvent pas complètement chargés, lors du départ des convois ;

Prix moyen.

10° Le prix moyen a varié d'une paye à l'autre, c'est-à-dire d'un mois à l'autre, de 2 fr. 30 à 3 fr. 80. Pour être dans le vrai, il faut admettre que cette tranchée ne coûtera pas moins de 3 fr. le mètre cube pour fouille, charge, plusieurs jets de pelles, poudre, mèche de sûreté, bois pour échafaudages, madriers de roulage et entretien du matériel ;

Transport moyen.

11° Le transport moyen, qui sera d'environ 1,500^m, coûtera 1 fr. en moyenne, y compris la pose et l'entretien des voies, ainsi que les ripages, croisements et déplacements. L'entretien des voies est considérable par les temps pluvieux et les relevages très-difficiles par les temps secs ;

Dépense totale.

12° La dépense totale pour cette tranchée ne sera pas moindre de 4 fr. à 4 fr. 20 par chaque mètre cube de déblais mis en place, y compris les frais généraux et faux frais qui, du reste, sont toujours très-considérables, quand une tranchée aussi importante ne se vide que par un côté. Une entreprise de cette étendue ne peut se faire à la tâche, il y aurait des contestations chaque jour, qui entraveraient la marche du travail et la circulation du matériel sur la voie. Il y a donc nécessité de faire le travail à la journée, ce qui en augmente toujours le prix, malgré la plus grande surveillance.

La galerie de Charmoille a été creusée pour faire une seconde attaque dans l'emplacement même des puits où on doit commencer à charger un wagon d'abord, et en faire une espèce d'entonnoir. On fera successivement la place de plusieurs wagons, puis la seconde attaque sera complète, tous les déblais sortiront par la galerie et la tranchée. Les wagons vides seront refoulés dans la galerie par la locomotive qui fait les transports aujourd'hui.

La galerie ne sera pas prolongée plus qu'elle n'est figurée sur le dessin, car le temps manquerait ; sans cela elle aurait été poussée jusqu'à l'extrémité de la tranchée qui, de cette manière, aurait été attaquée par ses deux côtés, quoique ne

portant les remblais que d'un seul. La galerie se démolira au fur et à mesure de l'avancement en tranchée, c'est-à-dire qu'elle sera raccourcie un peu chaque jour pour devenir tranchée.

Il n'était pas possible d'attaquer cette tranchée par plusieurs étages à la fois, surtout du côté de Mulhouse; le terrain ne le permettait pas, comme on peut le voir au profil, et malheureusement tous les déblais sont portés de ce côté-là.

TRANCHÉE DE VENDEUVRE

Pl. A, 4, 5,

à 33 kilom. de Troyes (chemin de Mulhouse).

M. Picard, chef du service des travaux.

La longueur de cette tranchée est de 1,600^m.

Juillet 1886.

Dans les prévisions premières cette tranchée devait être ouverte avec des talus à 45°; alors le cube prévu était de 323,565^m,61; depuis on a modifié le profil selon la nature variable qu'on rencontre dans les diverses hauteurs de cette tranchée, de telle sorte que le cube probable se trouve réduit à 279,119^m,45.

Cube total de la tranchée.

Dans ce cube ne figurent pas les déblais à faire pour la station de Vendevre, ni les déblais supplémentaires pour l'assainissement de la partie argileuse comprise entre les piquets 363 et 376.

Entre les piquets n° 331 et 340, on rencontre :

1° Une couche de terre végétale, variant de 0^m,30 à 0^m,50 d'épaisseur;

Nature des terrains.

2° Une couche de calcaire divisé, variant de 0^m,80 à 2^m,00 d'épaisseur;

3° Une couche de calcaire à spatangues, de 1^m,20 à 3^m,50 d'épaisseur;

4° Une couche de calcaire troué, par bancs ;

5° Une couche de calcaire compacte de 0^m,60 à 0^m,70 d'épaisseur.

La couche du calcaire gris, qui forme la base du calcaire, est en bancs serrés très-compactes, de 0^m,20 à 0^m,25 d'épaisseur.

Au point culminant de la tranchée, la couche de calcaire à spatangues atteint une épaisseur de 6^m, et le banc calcaire compacte dont on a parlé plus haut reparait entre les piquets 353 et 357, à une profondeur de 6^m,50, au piquet 355. Au piquet 362, le terrain calcaire finit subitement; il se trouve adossé par une couche d'argile sablonneuse pénétrée d'eau. Cette dernière couche est supportée par une couche d'argile schisteuse, très-dure, laquelle se perd en remontant entre la couche de terre végétale et la masse d'argile bigarrée, entre les piquets 360 et 370.

Entre les piquets nos 366 et 376, la masse d'argile bigarrée que l'on rencontre est traversée par un grand nombre de couches de lumachelles de 0^m,10 à 0^m,20 d'épaisseur.

Au-dessus de la masse de calcaire à spatangues, entre les piquets 357 et 362, se trouve une couche d'argile bigarrée.

Coupe géologique
sur l'axe.

La fig. 4, pl. A, 4, 5, donne la coupe géologique de cette tranchée.

Cube à enlever
par chacune des
extrémités et
distance moyenne
des transports.

Par l'extrémité Paris, le cube à enlever est de 210,119^m3,45.

La distance moyenne des transports est de 1,600^m.

Par l'extrémité Mulhouse, le cube est de 60,000^m3.

La distance moyenne des transports est de 900^m.

Cube
mis en dépôt.

Afin d'accélérer le percement de la cunette, on a retroussé, sur la longueur de la tranchée, un cube assez considérable. Ce retroussement ayant été généralement fait entre l'axe de la tranchée et la crête des talus, on dut, lorsqu'on fit le battage au large, reprendre ces torres à mesure de l'avancement, et les transporter en remblai.

Ce n'est qu'au point culminant du *mamelon*, et par suite de l'ouverture d'une cunette très-profonde, que l'on fut obligé de déposer un cube d'environ 6,000^m en dehors de la crête des talus.

Du côté Paris où le cube à enlever est le plus considérable, on s'est organisé de manière à multiplier les points d'attaque; l'exploitation a eu lieu sur trois étages, savoir :

Organisation
des travaux.

1^o Cunette de fond au niveau du projet ;

2^o Étage établi à 4^m au-dessus de la ligne de profil ; la descente se fait au moyen d'un plan incliné de 0^m,018 pour mètre sur une longueur de 225^m.

3^o Étage à 7^m au-dessus de la ligne de profil ; la descente a lieu à l'aide d'un plan incliné de 0^m,015 sur 333^m,33 jusqu'en B (*Voir le croquis ci-après*) ; puis arrivé en B, le service se fait par la même voie que pour le deuxième étage jusqu'au point A (le peu de largeur du fond de la tranchée ne permettant pas d'y établir une voie de descente spéciale pour le troisième étage).

L'attaque du côté de Mulhouse aurait été en rampe de 0^m,006 si l'on avait suivi la ligne de profil, ce qui aurait été défavorable pour les transports. Voici ce qui a été fait : on attaqua d'abord avec une pente à la charge de 0^m,001 par mètre sur 300^m de longueur jusqu'en D (*Voir le croquis ci-dessous*). Arrivé en ce point, on chercha à se relier avec le troisième étage de l'attaque (côté Paris) ; on y parvint avec une pente de 8^m,019 sur une longueur de 200^m ; la jonction se fit en C.



Cette jonction des attaques des deux extrémités, outre qu'elle fut utile pour l'avancement des travaux, facilita l'approvisionnement du matériel nécessaire à l'attaque côté de

Mulhouse, qui, jusque-là, n'avait pu être approvisionnée d'une manière convenable, attendu que de ce côté les chemins ouverts dans des terrains argileux deviennent impraticables en temps de pluie, tandis que vers Paris il se trouve de bons chemins.

Ce chantier a été attaqué par les moyens ordinaires, d'abord à la brouette sur une distance de transport de 100^m à 120^m, ensuite au wagonnet, sur une distance de 300 à 400^m, puis au wagon.

Pour plus amples détails sur l'installation des chantiers, voir le mémoire sur la tranchée de Jessains.

COUPES TRANSVERSALES DE LA TRANCHÉE A DIFFÉRENTES ÉPOQUES DU TRAVAIL.

Bien que la vue des conpes transversales de la tranchée, à différentes époques du travail, détermine suffisamment les variations successives par lesquelles le travail a passé, nous donnons ci-contre, afin de mieux indiquer l'avancement, des coupes de chacune des extrémités, à quatre époques différentes.

Au 30 juin 1855. — Tranchée côté de Paris.



Au 1^{er} janvier 1855. — Tranchée côté de Paris.



Tranchée côté de Mulhouse.



Fig. 569

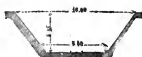


Fig. 576

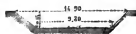


Fig. 576

Au 1^{er} juin 1856. — Tranchée côté de Paris.



Fig. 547 + 50m



Fig. 560

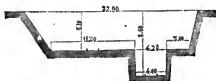


Fig. 555

Tranchée côté de Mulhouse.

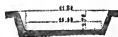


Fig. 564

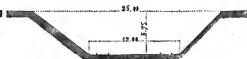


Fig. 571

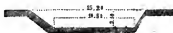
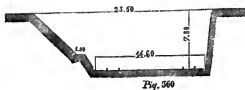
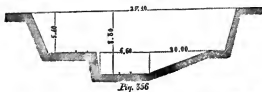
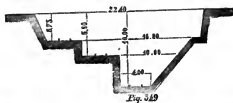
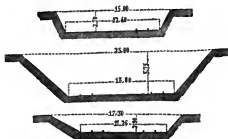


Fig. 576

Au 1^{er} janvier 1856. — Tranchée côté du Paris.



Tranchée du côté de Mulhouse.



Les cubes transportés par jour à différentes époques sont indiqués ci-dessous, et les moyennes ont été établies sur 25 jours de travail par mois.

A l'attaque du côté Paris, il a été transporté journellement au mois de :

Mai 1855, un cube de 130^m, à une distance moyenne de 265^m;

Octobre 1855, un cube de 400^m, à une distance moyenne de 400^m;

Janvier 1856, un cube de 427^m, à une distance moyenne de 1,200^m;

Mars 1856, un cube de 427^m, à une distance moyenne de 1,600^m;

Mai 1856, un cube de 464^m, à une distance moyenne de 1,800^m;

Juin 1856, un cube de 500^m, à une distance moyenne de 1,900^m.

A l'attaque du côté Mulhouse, il a été transporté journallement au mois de :

Juin 1856, un cube de 63^m, à une distance moyenne de 75^m;

Octobre 1855, un cube de 172^m, à une distance moyenne de 350^m;

Janvier 1856, un cube de 160^m, à une distance moyenne de 700^m;

Mars 1856, un cube de 236^m, à une distance moyenne de 900^m;

Juin 1856, un cube de 176^m, à une distance moyenne de 1,000;

Le nombre total de wagons employés dans cette tranchée est de 145, savoir :

Nombre de wagons employés.

Extrémité de Paris : { 108 wagons anglais d'une contenance de 1^m,50;
12 wagons grand modèle d'une contenance de 3^m;

Extrémité de Mulhouse : { 25 wagons grand modèle d'une contenance de 3^m;

Eu égard au foisonnement, on estime que les wagons anglais ne portent que 0^m90 à 1^m10, et les wagons grand modèle que 1^m80 à 2^m, mesurés au déblai.

Le prix moyen pour fouille et charge, y compris les frais de cunette, poudre, mèche, etc., etc., 1 fr. 70 c.

Prix moyen pour fouille et charge.

Prix moyen
pour transport.

Le prix moyen pour transport, y compris l'entretien des voies, la réparation et l'entretien du matériel, etc., 0 fr. 48 c.

Dépense totale par
mètre cube.

La dépense totale par mètre cube, y compris tous les frais généraux et faux frais, est de 2 fr. 80 c.

TRANCHÉE DE CHALMAISON

Pl. A, 4, 5,

à 3 kilom. de Flamboin (chemin de Mulhouse).

M. Duplaquet, chef du service des travaux.

Juillet 1886.

Nature
des terrains.

La tranchée de Chalmaison, située à l'extrémité sud du 2^e arrondissement de la 3^e division du chemin de fer de Paris à Mulhouse, se trouve sur le contre-fort droit de la vallée de la Voulzie, et le contourne au-dessus du village de Chalmaison, sur une longueur de près de 3^k. La nature du terrain ne présente pas de couches régulières; c'est un mélange informe de gravier, sable, craie et de tuf crayeux et argileux très-dur; cette dernière nature domine même les autres. La tranchée varie de hauteur; d'abord de 18^m, elle a ensuite généralement de 7 à 8^m de hauteur. Son cube total est de 500,000^m, dont on a mis en dépôt pour ouvrir les cunettes 50,000^m

Cube total.

Dont au sortir du 1 ^{er} plan vers Paris,			
pour le corps du chemin de fer	100,000	à	1,400 ^m
Du 2 ^e plan, <i>id</i>	70,000	à	1,400
Du 3 ^e plan vers Mulhouse, en dépôt.	110,000	à	800
Du 4 ^e plan, <i>id</i>	80,000	à	800
Du 5 ^e plan, <i>id</i>	20,000	à	1,000
Du 6 ^e plan, <i>id</i>	35,000	à	800
Du 7 ^e plan, <i>id</i> , pour le corps du			
chemin de fer, en partie.	35,000	à	800
	500,000		

Organisation
des travaux.

Le 1^{er} plan a été poussé vigoureusement en avançant le remblai très-étroit avec deux voies de décharge, afin de faciliter, plus tard, le déchargement des wagons de côté, et mul-

tiplier ainsi les déchargements; puis le 2^e plan, en complétant les remblais du 1^{er} plan.

Les 3^e et 6^e ont été attaqués simultanément pour faire les dépôts indiqués, avec des wagons de côté et des ripages successifs ou des wagons plate-forme se déchargeant à la pelle; puis on a travaillé au 4^e, au 7^e et au 5^e enfin. Pour le 1^{er} plan, on a toujours eu deux voies de chargement et 25 wagons en charge cubant 2^m,50; pour le 2^e plan, une voie de chargement et 25 wagons en charge cubant 2^m,50;

Pour le 3^e plan, 20 wagons en charge cubant 4^m;

Pour le 6^e plan, 10 wagons en charge cubant 4^m;

Pour le 4^e plan, 20 wagons en charge cubant 4^m;

Pour les 7^e et 5^e, 10 wagons en charge cubant 4^m;

Il y a eu alors en tout 80 wagons de 2^m,50 et 40 de 4^m.

Le plan, fig. 6, indique l'ensemble du travail après l'enlèvement des 1^{er}, 3^e et 6^e plans.

Deux fortes locomotives étaient employées aux grands transports et à toutes les manœuvres. On a employé aussi six chevaux pour les déchargements des 1^{er} et 2^e plans, et six chevaux pour le travail des 6^e et 7^e plans.

Les diverses coupes, fig. 7 et 8, jointes au plan, indiquent facilement la manière dont le travail a été organisé.

Coupes
de la tranchée.

De septembre en février, on a fait en moyenne, par jour, 1,500^m, à une distance moyenne de 1,000^m, soit, par mois, de 30 à 35,000^m; de mars à juin, par jour, 2,000^m, à une distance de 1,200^m, soit, par mois, de 50 à 55,000^m.

Moyenne
des transports.

On a payé généralement, pour fouille et charge. . . 1 fr. »

Prix moyen.

Pour transport » 65

TOTAL 1 65

Frais généraux et faux frais..... » 35

Dépense totale par mètre cube. 2 »

TRANCHÉE DE DANJOUTIN.

Pl. A, 4, 5,

à 2.kilom. de Belfort (chemin de Mulhouse).

M^r Mahiels, chef du service des travaux.

Juillet 1886.

Cube total.

Le cube prévu de 146,968^{m3},58 sera porté à 150,000^{m3}, par suite d'une plus grande inclinaison donnée à quelques parties de talus.

Nature
des terrains.

Entre le point du passage et le piquet 112 bis, on rencontre le calcaire jurassique par bancs, qui varient de 0^m,10 à 0^m,30 d'épaisseur; entre les piquets 112 bis et 114, de l'argile empâtant des blocs de calcaire; du piquet 114 à 117, des bancs de calcaire jurassique alternant avec des couches de marne bleue très-dure; de ce dernier point jusqu'à la sortie de la tranchée, on rencontre immédiatement après l'enlèvement de la terre meuble, le calcaire jurassique compact.

Cube géologique.

La coupe géologique fig. 11, pl. A, 4, 5, indique la nature des terrains traversés.

Coupe à enlever
par chacune des
extrémités.

Le cube à transporter pour la formation du remblai dans la vallée de la Savoureuse est de 106,271^{m3},54; celui à transporter vers Mulhouse, de 32,066^{m3},64.

Distance moyenne
des transports.

La distance moyenne de transport pour la masse à porter dans la vallée de la Savoureuse est supputée, à 1,200 mètres. Celle de l'attaque vers Mulhouse, à 800 mètres, et pour la mise en dépôt, à 300 mètres.

Cube
mis en dépôt.

Le cube à mettre en dépôt devant se déduire de l'excès de la masse non utilisée dans le corps du chemin et du foisonnement du déblai dans le roc, on ne peut pas encore le préciser; toutefois, on suppose qu'il sera de 40 à 45 mille mètres.

Il a été dit que cette tranchée aura 150,000^{m3}, de déblai; que le cube à enlever par chacune des extrémités est de :

Dans la vallée de la Savoureuse.....	106,271 ^m ,54
Vers Mulhouse.....	32,066 ^m ,64

Soit.....	<u>138,338^m,18</u>
-----------	-------------------------------

Voici comment s'explique un excès non utilisé de 40 à 45,000 mètres cubes.

D'abord les quantités de 106,271^m,54, de 32,066^m,64, consistent en remblais calculés suivant les profils relevés dans les deux bassins. Or, le déblai de 150,000^m à effectuer dans le roc est susceptible de foisonnement. Toutefois, ce foisonnement, quo l'on estime à 1^m,40 en exécution, sera réduit de moitié à l'époque de l'achèvement des remblais.

Cette réduction de 1^m,40 à 1^m,20 dans l'emploi doit résulter : 1° de la compressibilité du terrain sur lequel se forme le remblai ; 2° du régalinge ; 3° des tassements successifs causés par les pluies et le mouvement exercé par le transport ; 4° par la compression sur elles-mêmes des différentes couches successives composant la masse du remblai.

Donc les 150,000^m sont susceptibles, dans l'emploi absolu, de représenter 150,000^m $\times$ 1^m,20 = 180,000^m,00

La quantité de remblai utile pour les deux côtés de la tranchée = 138,338^m,00

Il résulterait par conséquent un excès de... 41,661^m,82

Ce qui explique nos supputations de 40 à 45,000 mètres à transporter en dépôt.

Suivant ce qui précède, les quantités de déblai réel à transporter doivent être exprimées par $\frac{100}{120} = 0^m,8333$; et rétablies comme suit :

	Remblai après tassement.	Déblai réel.
Vallée de la Savoureuse	106,271 ^m ,54 $\times$ 0 ^m ,8333	= 88,558 ^m ,08
Vers Mulhouse.	32,066 ^m ,64 $\times$ 0 ^m ,8333	= 26,723 ^m ,13
En dépôt.	41,661 ^m ,82 $\times$ 0 ^m ,8333	= 34,718 ^m ,79
Remblai après tassement.	180,000 ^m ,00	déblai réel, 150,000 ^m ,00

L'organisation de cette tranchée consiste en quatre attaques, dont deux avec grands wagons, servant à transporter la masse nécessaire à la formation des remblais du corps du chemin, et deux autres avec wagonnets à quatre roues pour la mise

Organisation
des travaux.

en dépôt des masses en excès. Ces wagonnets fonctionnent sur une voie n'ayant que 0^m,55 d'écartement, ce qui permet l'établissement de courbes à très-petits rayons, et facilite des attaques qu'il serait impossible d'organiser avec de grands wagons.

Les wagonnets sont construits de même que les grands wagons, et portent une caisse d'une capacité d'un demi-mètre cube, qui bascule indifféremment à l'avant ou de côté; le système d'ossieux et roues étant combiné de façon à n'exiger, comme dans les grands wagons, qu'une puissance de traction égale au $\frac{1}{200}$ ^e du poids, il arrive que, sur une pente de deux ou trois millimètres, un homme les fait manœuvrer avec facilité. Ils sont surtout d'une grande utilité dans les terrains aqueux et dans les terrains où il est impossible d'engager les chevaux.

Pour les dispositions générales et l'état d'avancement des travaux, voir la planche A, 4, 5.

Cube transporté quotidiennement.

Lorsqu'on n'est pas contrarié par les mauvais temps, qui empêchent une partie des ouvriers de se rendre au travail, on transporte par jour, en temps normal, à l'attaque vers Paris, de 350 à 400^m de déblai à une distance de 1,000^m. Dans les mêmes circonstances, on transporte, à l'attaque vers Mulhouse, 200^m à la distance de 500^m, et aux attaques de mise en dépôt, 200^m à la distance de 300^m.

Wagons employés.

On emploie à l'attaque vers Paris, 40 wagons, à celle vers Mulhouse, 20. Ces wagons portent en moyenne 3^m,20 de déblai foisonné et 2^m de déblai de roc non foisonné, mesuré en tranchée.

Prix moyen pour fouille et charge.

Le prix de revient moyen pour fouille, charge, déchargement, frais de cunetto, poudre, mèches de sûreté, frais d'outils..... 2^f 18

Prix moyen pour transport.

Le prix de revient moyen pour transport, y compris pose de voies de service et entretien; dépréciation, entretien et graissage des wagons; manœuvre des voies de formation et de déformation des trains. » 75

A reporter..... 2 93

<i>Report</i>	2	93
Pour frais d'établissement, de logement d'ouvriers, de construction de forge et écuries à proximité de la tranchée; de surveillance et d'administration se rattachant à la 6 ^{me} division seulement, 1/10.....	»	29
Dépense totale, à l'exception des frais généraux et faux frais de la direction des travaux.....	3 ^f	22

TRANCHÉE DE VAUCHONVILLIERS

à 16 kilom. de Bar-sur-Aube (chemin de Mulhouse).

M. Picard, chef du service des travaux.

Le cube total de la tranchée était dans les prévisions premières de 325,000^m^c, avec talus à 45°; mais, depuis, on a fait varier l'inclinaison des talus suivant la nature des terrains rencontrés; il en résulte que ce cube se trouve réduit à 282,297^m⁴⁰.

Juillet 1856.
Cube total.

Entre les piquets 466 et 474, le terrain est composé :

Nature
des terrains.

- 1° D'une couche de terre végétale peu prononcée;
- 2° D'une couche de calcaire par bandes de peu d'épaisseur;
- 3° D'une couche de marne de 0^m,30 à 0^m,40 d'épaisseur;
- 4° D'une couche de calcaire compacte par petits bandes très-serrés;
- 5° Le fond de la tranchée se compose de bandes calcaires de 0^m,30 à 0^m,80 d'épaisseur.

Du piquet 474 au piquet 484, on rencontre :

- 1° Une couche de terre végétale très-mince;
- 2° Une couche de terre franche assez forte, présentant vers le

piquet 474 une poche en forme de cône renversé, descendant jusqu'au fond de la tranchée;

3° Au-dessous, le calcaire à spatangues, lequel repose directement sur la couche de calcaire gris, par banc, qui lui sert de base, jusqu'à la ligne de profil. Vient ensuite le calcaire troué, par banc assez épais, variant de 0^m,70 à 1^m.

Du piquet 484 au piquet 491, on rencontre :

1° Une couche de terre végétale de 0^m,25 à 0^m,30 d'épaisseur;

2° Calcaire divisé sur 2^m d'épaisseur;

3° Calcaire par couche de moindre épaisseur jusqu'à la ligne de profil.

Au piquet 491 reparait le calcaire gris à spatangues jusqu'au piquet 514. Il sert de base à une forte couche de terre franche de 1^m,20 à 1^m,80 d'épaisseur. La plus grande épaisseur du calcaire à spatangues est de 7^m,15. Le cube jusqu'au fond, c'est-à-dire à 9^m,50 en contre-bas du sol, au piquet 508, est du calcaire par banc, variant entre 0^m,80 et 1^m d'épaisseur.

Au piquet 510, le déblai est poussé jusqu'à la profondeur de la ligne de profil. A ce point, on rencontre, à une profondeur de 11^m35, le calcaire solide et compact. Au-dessous, se trouvent de fortes couches de calcaire troué, sur lesquelles repose le calcaire gris à spatangues.

Du piquet 514 au piquet 525, la couche de terre végétale et de terre franche varie entre 0^m,50 et 2^m,50 d'épaisseur. Le calcaire troué finit au piquet 520. A ce point, on rencontre le calcaire divisé jusqu'au piquet 525.

Du piquet 525 au piquet 527, le terrain est formé d'une couche légère de terre végétale, au-dessous de laquelle on rencontre une couche de calcaire par bancs peu épais et compactes. Enfin, au fond de la tranchée, on trouve le calcaire troué par assises de faible épaisseur, très-compactes.

Le cube à enlever du côté de Paris est de 90,768^m; la distance moyenne des transports est de 1,800^m.

Cube à enlever par charune des extrémités, et distance moyenne des transports.

Le cube à enlever du côté de Mulhouse est de 121,886^m,40; la distance moyenne des transports est de 2,050^m.

Le cube mis en dépôt sera de 69,643^m.

Cube mis en dépôt.

Les terres sont déposées en cavalier aux abords de la tranchée, au moyen de la brouette. La distance moyenne du transport est de 100^m.

A l'attaque côté Paris, le déblai a été mené au niveau de la ligne de profil jusqu'au piquet 475. A partir de ce point, on avait l'intention d'exploiter en plan incliné; mais un commencement d'exécution fit reconnaître que ce mode d'exploitation ne présentait, en cet endroit, aucun avantage.

Organisation des travaux.

On se trouvait alors à 0^m,70 au-dessus de la ligne de profil. On continua à déblayer en restant parallèle au projet; de cette manière, on avait une plus grande largeur au plafond, et, par conséquent, une plus grande facilité dans les manœuvres.

L'attaque du côté de Mulhouse est toute différente de celle du côté de Paris; la grande hauteur que présente la tranchée de ce côté (à certains points, il y a plus de 15^m de profondeur) permet de travailler à deux étages.

Des chantiers furent alors installés, l'un au niveau de la ligne de profil, l'autre à 5^m,50 au-dessus. Aujourd'hui, les deux étages ont opéré leur jonction, ce qui donne une grande facilité pour les communications du matériel et d'approvisionnements.

En général, le calcaire gris à spatangues s'exploite à la mine, ainsi que toutes les masses qu'il superpose.

Le calcaire troué s'exploite également à la mine, mais avec peu de succès.

Nous donnons, d'autre part, des coupes prises à divers profils des deux côtés de la tranchée, et indiquant l'avancement du travail à quatre époques différentes.

Coupes transversales de la tranchée.

COUPES TRANSVERSALES DE LA TRANCHEE A DIFFÉRENTES ÉPOQUES
DU TRAVAIL.

Au 30 juin 1853. — Tranchée côté de Paris.



Fig. 469 + 2150

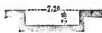


Fig. 471

Tranchée côté de Mulhouse.



Fig. 535



Fig. 533

Au 1^{er} janvier 1853. — Tranchée côté de Paris.



Fig. 474



Fig. 481

Tranchée côté de Mulhouse.



Fig. 520



Fig. 512



Fig. 505

Au 1^{er} juin 1853. — Tranchée de Paris.

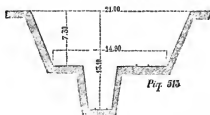


Fig. 498

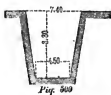


Fig. 503

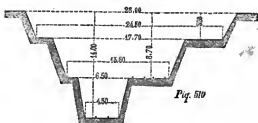
Tranchée côté de Mulhouse.



Au 1^{er} juillet 1856. — Tranchée côté de Paris.



Tranchée côté de Mulhouse.



Les cubes transportés journellement et provenant de l'attaque du côté Paris sont, pour les mois de :

Cubes transportés
journellement.

1855 — Juillet.	158 ^m	à une distance de 180 ^m .	
Septembre..	148	—	220.
Novembre..	200	—	325.
1856 — Janvier. ...	210	—	460.
Mars.	353	—	840.
Mai.	327	—	1,150.
Juin.	403	—	1,890.

Ceux provenant de l'attaque du côté Mulhouse sont, pour les mois de :

1855 — Juillet.....	128 ^m	à une distance de 150 ^m .	
Septembre..	200	—	200.
Novembre..	462	—	860.
1856 — Janvier....	300	—	970.
Mars.....	544	—	1,430.
Mai.....	464	—	1,675.
— Juin.....	640	—	1,900.

Dans ces distances de transport, sont comprises les moyennes à la brouette.

Wagons employés. Du côté de Paris, on a employé 48 wagons, cubant 3^m.

Et du côté de Mulhouse, 105 wagons, cubant également 3^m.

Eu égard au foisonnement, on estime que ces wagons ne portent que 1^m,80 à 2^m mesurés au déblai.

Prix moyen pour fouille et charge. Le prix moyen pour fouille et charges, y compris les frais de cunette, poudre, outils, est à ce jour de 1 fr. 85.

Prix moyen pour transport. Le prix moyen de transport s'est élevé par mètre cube à 0 fr. 64.

Dépense totale par mètre cube. La dépense totale par mètre cube, y compris les frais généraux et faux frais, est de 3 fr. 40.

TRANCHÉE DE MAUREVERT

à 25 kilom. de Noisy-le-Sec (chemin de Mulhouse).

M. Duplaquet, chef du service des travaux.

Juillet 1856.

Nature
des terrains.

La tranchée de Maurevert, située à l'extrémité sud du 1^{er} arrondissement de la 3^e division du chemin de fer de Paris à Mulhouse, se trouve sur les communes de Chaumes et de Guignes, près du hameau de Maurevert qui l'avoisine. Elle

prend naissance sur le versant droit de la rivière de l'Yères, à 20^m environ au-dessus de cette rivière, et règne sur plus de 1,800^m de long. La nature du terrain qu'elle traverse se compose de deux couches bien distinctes : l'une qui est sablonneuse, mélangée de blocs énormes de grès à la partie supérieure sur environ le tiers de la hauteur ; l'autre qui n'est que de la caillasse très-dure, mélangée de meulière ; elle repose sur un banc de glaise verte et reçoit ainsi beaucoup d'eau à sa partie basse, ce qui a gêné beaucoup l'établissement des voies. La hauteur moyenne de la tranchée est de 9^m ; son cube total est de 225,000^m, dont on a mis en dépôt environ 45,000^m pour faciliter l'ouverture des cunettes, et le reste a dû sortir par son extrémité nord, d'abord d'un plan supérieur sur une rampe de 0^m,015 à l'aide de freins, et ensuite du fond de la tranchée sur une rampe de 0^m,006 à une distance moyenne de 1,600^m.

Le travail a été ainsi conduit : enlèvement du plan supérieur à l'aide de deux voies de chargement ; puis, au fur et à mesure de l'avancement de cette partie supérieure, d'abord attaquée au plafond à l'aide d'une voie et d'une demi-lune, et successivement nouvelles attaques dans la caillasse avec des voies en contre-pente pour dégager au plus tôt la percée principale de la tranchée.

Organisation
des travaux.

On a toujours marché avec 15 à 20 wagons dans la partie supérieure, et au moment de la rédaction de cette note, on a au plafond :

8 wagons,

8 id., 4 à chaque attaque inférieure,

14 id. à l'attaque supérieure,

30 ensemble ;

Ce qui nécessitait une circulation de 100 wagons. Une simple décharge à 3 voies, précédée d'une demi-lune, a suffi pour le travail avec 6 chevaux lanceurs travaillant par 3 et par 1/4 de jour.

On a d'abord déchargé journallement de 2 à 300 wagons

par jour de 2^m chacun, soit par mois un cube moyen de 10,000^m à 1,000^m de distance moyenne; puis on est arrivé à faire 350 wagons en moyenne par jour, soit par mois 14 à 15,000^m, à 14, à 16,000^m de distance moyenne. La difficulté que présentait la couche pierreuse n'a pas permis de donner plus d'impulsion à ce travail.

Prix pour fouille,
charge et trans-
port.

On a payé généralement pour fouille et charge, y compris frais de cunette, poudre et outils.....	1 ^f 80
Pour transport.....	» 70
TOTAL.....	2 ^f 50
Frais généraux et faux frais.....	» 50
Dépense totale par mètre cube.....	3 ^f »

TRANCHÉE DE BRIEL

à 25 kilom. de Troyes (chemin de Mulhouse).

M. Picard, chef du service des travaux.

Juillet 1886.

Cube
de la tranchée.

La longueur totale de cette tranchée est de 1,600^m.

Le cube prévu de cette tranchée est de 175,085^m; mais probablement ce cube sera augmenté par suite des ébouléments et des travaux d'assainissement qu'on sera obligé de faire.

Nature
des terrains.

Cette tranchée se trouve entièrement comprise dans les bois de Briel; c'est indiquer que toute la superficie, prévue comme terre végétale facile à la fouille, ne présente qu'une masse serrée de souches d'arbres à racines profondes, enchevêtrées les unes dans les autres et offrant la plus grande résistance dans l'attaque.

A 0^m,40 environ au-dessous de la surface du sol, on ren-

contre des argiles légulines, tantôt pures, tantôt pénétrées d'oxyde de fer ou mélaugées de sable vert.

Le fond de la tranchée est composé, sur une épaisseur d'environ 4^m, d'une argile brune très-foncée, très-dure, difficile à exploiter. On y rencontre beaucoup de sources qui s'infiltrant à travers les sables par-dessus les terres glaises. Ces infiltrations causent quelquefois des éboulements considérables qui nécessiteront des travaux de consolidation assez importants.

L'exploitation de cette tranchée est assez facile pendant l'été; pendant l'hiver, on y a travaillé pour obéir à l'obligation de pousser les travaux rapidement, mais sans obtenir de résultat sensible; la difficulté de maintenir les voies, l'impossibilité presque constante d'y faire marcher les chevaux arrêtaient, le plus souvent, tout travail productif.

Des puits de sonde, descendus sur l'axe, au point maximum de la tranchée, ont donné les résultats suivants :

Coupe des puits
de sonde

- 0^m,40 terre végétale,
- 5^m,60 argile léguline mêlée de sable vert,
- 0^m,20 argile léguline pénétrée d'oxyde de fer,
- 1^m,30 argile léguline mélangée de sable vert,
- 1^m,70 argile brune très-foncée,
- 2^m,80 sable vert très-foncé, mélangé d'argile
brune dure.

TOTAL . . . 12^m,00.

Le cube à enlever du côté de Paris est de 42,327^m°,67 ; la distance moyenne à parcourir est de 1,874^m.

Cube à enlever par
chacune des ex-
trémités.

Le cube à enlever du côté de Mulhouse est de 132,762^m°,33 ; la distance moyenne à parcourir est de 777^m.

Il n'y aura pas de dépôt; tout le cubo sera employé en remblais utiles.

Cube
mis en dépôt.

La tranchée a été attaquée par les deux côtés.

L'attaque du côté de Paris a été faite par les moyens ordi-

Organisation
des travaux.

dinaires. On a pu, en raison du peu de hauteur de la tranchée vers ce point, descendre jusqu'au niveau du projet et opérer le wagnage au moyen de la pente du projet de 0^m,005.

L'exploitation a commencé par un transport à la brouette jusqu'à une distance maximum de 100^m.

On a employé ensuite les wagnets ou camions jusqu'à une distance de 350^m; arrivé à cette distance, on a installé le wagnage.

Du côté de Mulhouse, où la nature du terrain ne permettait pas de fouiller jusqu'au niveau du projet, car on eût été contrarié par les sources abondantes que l'on y rencontre, on a attaqué la tranchée au moyen d'un plan supérieur incliné en sens inverse de la ligne de profil, de manière à pouvoir atteindre le dessus des sources. Ce plan part du point de passage de la tranchée, en rampe de 0^m,02, sur une longueur de 175^m, et se prolonge, en rampe de 0^m,0075, jusqu'à la rencontre avec la ligne du terrain naturel.

Par cet étage, on a enlevé toutes les terres jusqu'aux talus, au niveau des voies du plan incliné. Dans cette disposition, les wagons chargés descendaient seuls, à l'aide de freins; ces wagons allaient ainsi jusqu'à la voie de garage où ils étaient déchargés. Les wagons vides étaient remontés par des chevaux.

Lorsqu'on eut atteint ainsi une profondeur d'exploitation d'environ 300^m, on rejeta la voie principale contre un des talus, et l'on attaqua au niveau du projet par les moyens ordinaires, mais en laissant toutefois subsister dans l'élargissement une banquette contre le talus pour supporter la voie du plan incliné.

L'exploitation à deux étages a continué jusqu'au 15 mai dernier. Les terres du 2^e étage se trouvant alors enlevées à partir du talus au niveau du plan incliné, on a continué depuis à exploiter par le fond de la tranchée seulement.

Le cube transporté dans le mois de juin 1855, à 220 ^m de distance, est de.....	160 ^m	Cube transporté quotidiennement.
Septembre.... 1855, à 310 ^m de distance, est de	378 ^m	
Mois de janvier 1856, à 690 ^m d° d°	250 ^m	
— avril — à 890 ^m d° d°	456 ^m	
— juin — à 1,200 ^m d° d°	730 ^m	

Le nombre de wagons employés dans cette tranchée est de 110, composé, savoir :

1° 45 grands wagons dont la capacité est de 3^m.

2° 65 wagons anglais cubant 1^m,50.

Eu égard au foisonnement, nous estimons que les premiers ne portent quo 1^m,80 à 2^m, et les seconds 0^m,90 à 1^m,10, mesurés au déblai.

Le prix moyen pour fouillo et charge, y compris les frais de cunette, est de.....	1 ^f 03	Prix moyen pour fouille, charge et transport.
Le prix de transport.....	0 ^f 45	
La dépense totale par mètre cube, y compris les frais généraux et faux frais, est de.....	2 ^f 06	Dépense totale.

TRANCHÉE DE CRÉVENEY

A 11 kilom. est de Vesoul (chemin de Mulhouse).

M. Lavaurs (Eugène), chef du service des travaux.

Le cube total de cette tranchée est de 128,000^m3, en comptant sur des talus à 45°, dont il faudra probablement réduire l'inclinaison, avec banquettes de 1^m de largeur à chaque hauteur de 3^m.

*Juillet 1856.
Cube total.*

La nature du terrain est de la plus mauvaise espèce. A la surface, on rencontre une couche insignifiante de terre dite végétale, constamment mouillée ou gercée; cette couche repose immédiatement sur un lit de 5^m d'épaisseur d'argile

*Nature
des terrains.*

jaunâtre, très-lourde. En dessous, un banc de 1^m,10 d'argile sablonneuse extrêmement mouillée, reposant sur une petite couche de marne graveleuse très-humide, ne soutient qu'avec difficulté la masse argileuse qui l'écrase. Puis, viennent la marne bleue résistante et le schiste marneux très-dur. Par les temps pluvieux, l'eau suinte de toutes parts.

Cube des puits de sonde.

Plusieurs puits de sonde, de 2^m de côté, descendant sur l'axe, ont indiqué les couches successives de la masse.

Le cubo tout entier s'enlève du côté de Paris.

La distance moyenne du parcours sera de 1,725^m.

Tout le cube devra être employé en remblais utiles.

Organisation des travaux.

L'attaque d'un seul coup d'une tranchée si élevée dans d'aussi mauvais terrains eût été impossible. On a dû, pour obvier à cette impossibilité, songer à doubler la tranchée. A cet effet, le déblai a d'abord été régulièrement mené sur la voie de fond, et à la cote du projet jusqu'au profil 263, où se construira plus tard un passage supérieur. Puis, une aiguille a été établie au piquet 257 ; de là, part une voie qui s'avance en dehors du talus, du côté de la dépression du terrain, et s'élève avec une rampe de 0^m,018 ; après le piquet 263, cette voie rentre dans la tranchée, et s'avance, autant que possible, en cunette. Deux voies en éventail, avec voie de garage, rayonnent de chaque côté de cette voie principale, et se ripent au fur et à mesure de l'avancement du travail, jusqu'à ce qu'elles soient arrivées aux talus. Un seul frein est assez puissant pour modérer la marche d'un train de huit wagons sur cette pente de 0^m,018. La voie de fond continue à avancer à la cote du projet, et mine le déblai au complet, moins toutefois la partie de talus qui se trouve sous la voie principale de l'attaque supérieure. Lorsque le déboullement de la tranchée sera complètement effectué jusqu'au piquet 269, l'attaque de fond, du côté de Paris, continuera son travail, et une nouvelle attaque renversée sera établie du côté de Mulhouse, au projet. Les wagons de cette attaque remonteront sur le terrain naturel jusqu'au piquet 269, où ils rencontreront la voie de l'attaque supérieure achevée.

D'après ce qui vient d'être dit, l'on se représente plus facilement qu'il ne serait possible de le faire avec des croquis, la coupe transversale de la tranchée aux différentes époques du travail.

Avec un nombre d'ouvriers suffisant, lorsque les remblais se soutiennent et que le temps permet de travailler régulièrement, on fait par jour à la tranchée de Crévency, de 350 à 400^{m³} de déblai, et ce cube, avec les mêmes moyens, se continue jusqu'à ce qu'on ait atteint la distance de 800^m. Il faudra ensuite, pour continuer dans la même proportion, augmenter le nombre des chevaux et des wagons pour établir des relais.

42 wagons sont employés à Crévency : 36 wagons anglais et 6 wagons à bascules de côté. Chacun de ces wagons est d'une capacité de 3^{m³},11 ; on peut supposer qu'ils emportent moyennement 2^{m³} de déblai.

Le prix de 1 fr. 10 alloué aux tâcherons, comprend les fouille et charge, la pose et l'entretien des voies (avec matériel de l'entreprise ou de la Compagnie), la décharge, le dressement des talus en déblai, et toutes sujétions de main-d'œuvre quelconques.

Les prix pour transport, sont :

Constante, 0 fr. 25 ;

Chaque relai de 100^m, 0 fr. 25.

En tenant compte des frais généraux de l'entreprise, des secours qu'elle sera obligée de donner à ses tâcherons, des avances qu'elle leur fera, et qui seront sans doute perdues, des sacrifices de toute nature enfin, qu'elle aura à subir pour conserver les chantiers organisés, on est convaincu que la tranchée de Crévency, une fois achevée et réglée, aura coûté 2 fr. 10 du mètre cube de déblai, non compris les frais généraux et les faux frais inhérents à la direction des travaux.

TRANCHÉE DE HORTES

A 64 kilom. de Vesoul (chemin de Mulhouse).

M. Naillie, chef du service des travaux.

Le cube total du déblai de la tranchée est de 392,345^m,00.

La masse générale de la tranchée est une marne bleuâtre, bitumineuse et schisteuse, qui s'extrait à la mine. Cependant, à la surface se trouve une légère couche de terre végétale; puis vient une couche de glaise terreuse, bleuâtre, mélangée de prismes de carbonate de chaux. La couche suivante se compose, dans certains endroits, de marnes grises, glaiseuses, légèrement feuilletées, et dans d'autres de bancs de liais. Ces trois couches ont ensemble une épaisseur qui varie de 3^m,00 à 3^m,50, et tout le dessous est, ainsi que nous l'avons dit, une marne bleuâtre schisteuse, s'extrayant à la mine et se délitant à l'air.

Par l'extrémité Paris, le cube à enlever est de 87,735^m3;

Par l'extrémité Mulhouse, le cube est de 239,156^m3;

Et à enlever par une voie intermédiaire, pour mettre en dépôt, latéralement, le cube est de 65,454. Ces cubes sont ceux du déblai. Les cubes à transporter par rapport au foisonnement, sont de un tiers au moins plus élevés.

La tranchée a été attaquée à la fois par les deux extrémités et au milieu. Le déblai enlevé aux extrémités est transporté en remblai pour le corps du chemin de fer et pour la plate-forme de la station. Le cube enlevé dans la zone intermédiaire est mis en dépôt à demeure, une petite quantité sur la gauche du chemin de fer, une plus grande sur la droite.

Du côté Paris, l'attaque a eu lieu par une voie principale, prolongée vers Paris jusqu'au viaduc des Joncs à 1,500^m de distance. Cette voie étant supérieure a pu être moins inclinée que celle faite presque à niveau de la plate-forme, elle est comme le chemin de fer, en rampe de 0^m006 par mètre. A

côté de ces deux voies, il en a été posé une intermédiaire pour la hauteur, et qui a permis de battre au large. Des voies de décharge ont été établies latéralement pour porter les terres en dépôt; ne pouvant porter les glaises au remblai, on a dû en exécution construire des voies pour déposer ces terres.

Du côté Mulhouse, l'attaque a eu lieu d'abord par des voies supérieures, puis latéralement par une voie intermédiaire; enfin on a continué la cunette à fond. Le remblai de ce côté a nécessité une quantité considérable de voies de décharge, les unes pour le corps même du chemin de fer, d'autres pour le remblai de la plate-forme de la station; puis encore une voie pour mettre en dépôt les déblais glaiseux que leur mauvaise qualité comme remblai devait empêcher d'utiliser.

Pour l'attaque intermédiaire, on a dû procéder d'une manière analogue; senlement, afin d'éviter de monter une forte rampe, il a été fait une tranchée oblique au chemin de fer pour poser la voie qui sert au transport des terres portées en dépôt.

Le premier mètre superficiel de la tranchée a été déblayé à la brouette; une partie a été rechargée, l'autre est restée en dépôt.

Les mois précédents, le cube enlevé journellement était seulement de 560 à 690^{m^c}. Depuis huit mois, les hommes étaient aussi souvent occupés à assainir la tranchée qu'à piocher et charger. Aujourd'hui la moyenne de juillet sera 880^{m³} par jour. La disposition des voies est telle que (si les bras n'avaient pas fait défaut malgré les énormes prix payés) il aurait été possible d'enlever 1,500^{m³} par jour.

La distance moyenne est d'environ 800^m.

On occupe 108 wagons dont la capacité est de 3^m00; ils ne peuvent, à cause du foisonnement, enlever que 1^m,80 à 2^m00 de déblai.

Le prix moyen pour fouille et charge, y compris les frais de cunette, poudre, outils, etc., a varié; il a été généra-

lement de 2 fr. 50 à 2 fr. 75; les bancs de liais compacte qui avaient jusqu'à 2^m,50 d'épaisseur ont énormément augmenté le prix de revient.

Le prix moyen pour transport au wagon comprenant : frais de traction, hommes et chevaux, entretien du matériel, pose, dépose, entretien des voies, lanceurs, déchargeurs, etc., est de 0 fr. 90 à 1 fr. Ce prix, un peu élevé, se trouve expliqué dans l'observation qui suit :

Pour avoir la dépense générale par mètre cube, il faut aux prix ci-dessus ajouter au moins 1/5 pour frais généraux, construction du matériel roulant, personnel, organisation et faux frais qui, pour cette tranchée, sont peu ordinaires, et on obtient ainsi 4 fr. ou 4 fr. 25 pour prix de revient.

L'une des causes principales de ce prix, qui peut paraître élevé, gît dans la nature des bancs supérieurs, si différents entre eux. Au-dessus du liais compacte placé à la base, on a rencontré une marne glaiseuse qu'il a fallu trier, et dans laquelle il a fallu épuiser naturellement les eaux depuis le commencement des travaux; enlever des boues, assainir, par toutes les méthodes connues, rigoles, drainages, etc., pour que les chevaux puissent circuler dans ces marnes.

Si l'on observe également que depuis vingt mois les salaires ont doublé; que les trois mois d'avril, mai et juin, où l'on devait compter travailler le plus, ont été perdus par les pluies; que c'est une perte de temps de six mois; qu'une tranchée de cette importance et de cette nature ne peut malheureusement jamais être donnée à la tâche, on concevra aisément les prix ci-dessus.

TRANCHÉE DE JARGES

A 14 kilom. de Vesoul (chemin de Mulhouse).

M. Naille, chef du service des travaux.

Le cube total de la tranchée était primitivement prévu à 248,000^{m3} avec des talus projetés à 45°; mais la nature du déblai ayant conduit à réduire les talus à 1/4 pour 1, le cube général de la tranchée est descendu à 200,000^{m3}.

La tranchée de Jarges est presque entièrement composée d'un rocher vif qui ne peut s'extraire qu'à la mine. La partie supérieure est seule composée, sur une épaisseur de 0^m,60 à 1^m, de terres végétales et jaunâtres. On rencontre aussi quelques poches de terre, ayant la forme d'un cône renversé, et dont toutefois la profondeur s'arrête au rocher le plus dur, à 3^m du terrain naturel;

Il est arrivé que les sondes, faites avant l'ouverture des travaux sont tombées justement dans les poches précitées, de sorte qu'elles ne représentent nullement la coupe géologique de la tranchée qui, dans ce moment, est partout en plein rocher et très-difficile à extraire;

Nous avons dit que le cube de déblais est 200,000^{m3}, sur lesquels 30,000^{m3} seront, pour achever le travail, mis en dépôt, 125,000^{m3} iront en remblai côté de Paris, et 45,000^{m3} en remblai côté de Mulhouse;

Le cube de 30,000^{m3} en dépôt provenant de l'attaque faite au sommet de la tranchée est enlevé au tombereau; ainsi diminue la partie du côté de Paris d'une masse importante, ce qui facilite dès lors l'ouverture de la cunette;

La tranchée a été attaquée par les deux extrémités au wagon, et par le milieu au tombereau. A la tête de Paris, l'entrée en tranchée se trouve dans une faille à pic et d'une exécution très-difficile; aussi, après avoir commencé la cunette au niveau du rail-way, a-t-on été obligé de se relever au moyen d'une rampe de 0^m,027 par mètre pour diminuer la hauteur de l'abatage, qui était de plus de 20^m. Aussitôt que

l'abatage en grand ou l'élargissement fait au moyen de cette dernière cunette permettra de la ripper, on pourra continuer l'ancienne cunette inférieure, et, au moyen de cette dernière, on enlèvera toute la partie de déblai laissée sous le plan de la cunette supérieure, qui est déjà prolongée jusqu'au droit du profil 23.

Du côté de Mulhouse, on a travaillé également avec deux cunettes, une à droite de l'axe, ouverte à une profondeur moyenne de 5^m, et construite sur un plan incliné à 0^m,03 par mètre pendant seulement un parcours de 95^m, au bout duquel la pente change et se réduit à 0^m,016. L'autre cunette, ouverte au pied du talus de gauche, à une profondeur moyenne de 7^m, a été établie sur un plan incliné à 0^m,01. On commence en ce moment une troisième cunette à profondeur de la plateforme du chemin de fer, au moyen de laquelle on pourra enlever les déblais au-dessous du plan des deux premières. Malheureusement, on a été obligé de suspendre le côté de Mulhouse, car les remblais sont complets, et tous les déblais sont nécessaires au remblai côté de Paris, où il n'est possible d'aborder que par l'intérieur de la tranchée, ainsi qu'on peut s'en rendre compte en voyant le coteau à pic, qui offre une des plus grandes difficultés d'exécution que l'on puisse rencontrer dans l'ouverture des tranchées; aussi, ne pourra-t-on reprendre le côté de Mulhouse que quand la cunette sera ouverte dans toute la longueur de la tranchée;

Dans cette tranchée, commencée depuis environ onze mois, on a, en moyenne, déblayé et transporté 350^m³ par jour. Dans le commencement, pendant les six premiers mois, à peu près 250^m³ par jour, et depuis, environ 400 à 450^m³. Aujourd'hui, depuis le beau temps seulement, c'est-à-dire depuis deux semaines on fait environ 500^m³ par jour.

Les distances sont, pour le transport au tombereau en dépôt, à 350^m; pour le côté de Paris, au wagon, à 200^m de distance moyenne; pour le côté de Mulhouse, en wagon, à 1,000^m de distance moyenne

Le nombre de wagons présents est de 53, desquels un

dixième en réparation. Ils cubent chacun 3^m, eu égard au foisonnement et aux wagons qui ne se trouvent pas complètement chargés lors des convois. Ils ne peuvent enlever que 1^m,60 à 1^m,80 de déblais;

Le prix moyen de revient pour fouille et charge, outils, poudre, éclairage, cunette, etc., est de 3 fr. 25 pour le côté de Paris et 2 fr. 10 pour le côté de Mulhouse. Si le déblai de la tranchée eût été transporté vers Mulhouse, au lieu de l'être vers Paris, le prix de revient eût été de 1 fr. de moins par mètre cube, puisqu'il a été impossible, de ce côté Paris, d'y superposer des voies latérales, la cunette se trouvant subitement à 15 et 20^m de hauteur;

Le prix moyen pour transport, comprenant frais de traction, hommes et chevaux, entretien du matériel, pose, dépose, entretien des voies; lanceurs, déchargeurs, etc., etc., est de 90 centimes;

A ce prix, si l'on ajoute les frais généraux, construction de matériel, personnel, organisation, qui s'élèvent à un cinquième, on obtient pour prix de revient près de 4 fr. 25 à 4 fr. 50 en moyenne pour chaque mètre cube de déblai mis en place. Les faux frais sont toujours considérables, quand une partie importante de la tranchée ne peut se transporter que d'un côté, et que, par la configuration du terrain, ce côté présente presque verticalement un saut subit de 33^m de hauteur, avec un déblai de 20^m de hauteur dans le rocher; il y a dès lors impossibilité de poser plus d'une voie.

Cette cause principale de l'élévation du prix de revient n'est pas la seule; nous pouvons y ajouter :

L'augmentation des salaires doublés depuis vingt mois;

Les pluies persistantes d'avril, mai et juin, qui ont occasionné un retard de six mois;

Enfin, l'impossibilité d'exécuter des travaux de cette importance à la tâche.

COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER DU NORD.

Fournitures de traverses de forme ordinaire en chêne non préparé, et en bois de hêtre et charme préparé par le procédé de M. le docteur Boucherie.

CAHIER DES CHARGES.

ART. 1^{er}.

1. — Le présent cahier des charges a pour objet la fourniture de traverses ordinaires pour la pose et l'entretien des voies des lignes concédées à la Compagnie.

ART. 2.

2. — Les bois sont d'essence de chêne non préparé ou d'essence de hêtre et de charme préparés par le procédé de M. le docteur Boucherie.

ART. 3.

3. — Les traverses en bois de chêne à fournir auront une section rectangulaire, et seront dressées à la scie sur les quatre faces. On pourra néanmoins admettre par tolérance le dressage à la hache pour les faces latérales.

4. — Ces traverses devront satisfaire aux conditions suivantes :

1^o La face inférieure aura les deux arêtes vives, sans aubier et sans flaches ;

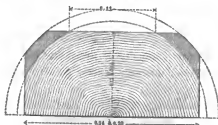
2^o Les deux faces latérales devront présenter le bois de cœur à nu sur une hauteur minimum de cinq centimètres (0^m,05) ;

3^o La face supérieure, qui doit recevoir le coussinet, sera dépourvue, dans son milieu, d'aubier sur une largeur d'au moins onze centimètres (0^m,11).

Dans tous les cas, l'épaisseur de l'aubier et des flaches réunis ne devra pas dépasser quarante millimètres (0^m,040).

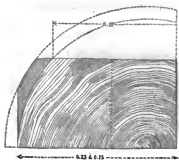
La longueur des traverses variera entre deux mètres cinquante centimètres (2^m50) et deux mètres soixante centimètres (2^m60).

Les quatre cinquièmes ($4/5$) au moins des traverses en chêne à fournir auront vingt-quatre à vingt-huit centimètres ($0^m,24$ à $0^m,28$) de largeur sur douze à quatorze centimètres ($0^m,12$ à $0^m,14$) d'épaisseur (coupe n° 1).

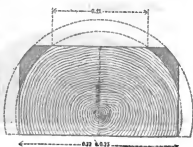


Coupe n° 1.

5. — On admettra seulement jusqu'à concurrence de un cinquième les traverses qui n'auront que vingt-deux à vingt-trois centimètres ($0^m,22$ à $0^m,23$) de largeur (coupes n° 2 et 3). Les traverses (coupe n° 3) admises avec ces dimensions devront, du reste, satisfaire complètement aux conditions d'équarrissage définies ci-dessus; elles seront dépourvues de flache ou d'aubier à la face supérieure sur dix-sept centimètres ($0^m,17$) au moins.



Coupe n° 2.



Coupe n° 3.

ART. 4.

6. — Les traverses en bois de hêtre et de charme préparés par le procédé de M. le docteur Boucherie pourront avoir les formes rectangulaires et les dimensions indiquées ci-dessus pour les traverses en chêne (coupes n^{os} 1, 2 et 3).

Les conditions de tolérance des flaches pour ces traverses seront les mêmes que pour l'aubier et les flaches réunis dans les traverses en chêne.

7. — On admettra, en outre, pour les bois préparés :

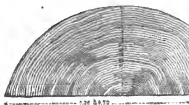
1^o Les traverses (coupe n^o 4) ayant une section demi-circulaire provenant d'une bille divisée en deux parties égales;



Coupe n^o 4.

2^o Les traverses avec deux faces de sciage et une face circulaire (coupe n^o 5);

3^o Les traverses intermédiaires ayant trois faces de sciage et une face circulaire, avec le centre dans le corps de la traverse (coupe n^o 6).



Coupe n^o 5.



Coupe n^o 6.

La longueur des traverses préparées pourra varier, comme pour celles non préparées, entre deux mètres cinquante centimètres et deux mètres soixante centimètres (2^m,50 et 2^m,60).

La section des bois demi-ronds (n° 4) aura de treize à seize centimètres (0^m,13 à 0^m,16) de rayon.

Les traverses (n° 5) à deux faces de sciage et une face circulaire auront de vingt-huit à trente-deux centimètres (0^m,28 à 0^m,32) de largeur à la base et de treize à quinze centimètres (0^m,13 à 0^m,15) d'épaisseur.

Les traverses (n° 6) à trois faces de sciage et une face circulaire auront une épaisseur de douze à quatorze centimètres (0^m,12 à 0^m,14); la largeur de ces traverses sera de vingt-deux à vingt-huit centimètres (0^m,22 à 0^m,28) à la face inférieure et à la face supérieure.

8. — Les traverses ayant seulement une largeur à la base de vingt-deux à vingt-trois centimètres (0^m,22 à 0^m,23) (coupes n° 2, 3 et 6) ne seront admises que dans une proportion de quatre pour cent (4 p. %) sur l'ensemble des traverses en bois préparés à fournir.

ART. 5.

9. — Les traverses seront sensiblement droites; on tolérera seulement une courbure telle que la flèche soit un vingtième au plus de la longueur. Les coussinets, placés à distances égales des deux extrémités de la traverse, devront d'ailleurs pouvoir reposer, sur toute leur étendue, sur la surface plane qui doit les supporter, et de façon que leurs axes se trouvent sur la même ligne droite, partageant cette surface en deux parties sensiblement égales.

10. Les extrémités de toutes les traverses seront terminées par une section perpendiculaire à la longueur.

ART. 6.

11. — Les bois de chêne, de hêtre ou de charme devront être parfaitement sains et de la meilleure qualité. Ils ne seront

ni gras, ni roulés, ni gélifs, ni échauffés, ni piqués. Ils seront exempts de pourriture, malandres, fentes, gerçures, nœuds vicieux et tous autres défauts.

Tous les bois seront entièrement dépouillés de leur écorce.

Le bois de chêne sera dur et à fibres très-serrées. On rejettera celui qui proviendrait de terrains gras et humides. A cet égard, le fournisseur donnera avis à l'ingénieur en chef de la Compagnie de la provenance des bois à livrer; celui-ci aura le droit de prononcer les exclusions qu'il jugera convenables.

ART. 7.

12. — Les bois de liêtre et de charme ne seront admis qu'après avoir été préparés au sulfate de cuivre par le procédé de M. le Dr Boucherie.

Le sulfate de cuivre à employer devra être de première qualité et être introduit dans les bois à raison de cinq kilogrammes cinq cents grammes (5 k. 500 g.) au moins par stère préparé. Il sera dissous dans la proportion d'au moins un kilogramme cinq cents grammes (1 k. 500 g.) par hectolitre d'eau.

L'entrepreneur devra ajouter à la dissolution une certaine proportion de sel marin, si l'ingénieur de la Compagnie le juge convenable.

13. — La pénétration des bois étant toujours imparfaite, quand ils ont des vices, comme nœuds, fentes ou autres défauts analogues, on sera très-sévère dans la réception et on rebutera tous les bois qui ne seront pas parfaitement sains, ou qui, par une cause quelconque, n'auraient pas été entièrement imbibés de sulfate de cuivre.

14. — La préparation des traverses sera constatée au moyen d'un réactif composé de 90 grammes de cyano-ferrure de potassium dissous dans un litre d'eau, qui sera étendu sur la surface des bois avec un pinceau. On ne réputera les bois comme bien préparés que lorsque le réactif donnera au bois

une coloration rouge; la coloration simplement rosée sera réputée insuffisante.

Cette règle sera appliquée généralement aussi bien au charme qu'au hêtre, mais l'ingénieur de la Compagnie aura le droit de prescrire l'emploi de tous autres moyens d'épreuve qu'il jugerait convenables.

ART. 8.

15. — La Compagnie aura le droit de faire surveiller toutes les opérations relatives à l'injection des traverses en charme ou en hêtre, afin de s'assurer du bon emploi du procédé de M. Boucherie; du reste, les opérations de l'entrepreneur devront, sous ce rapport, être faites d'après les conseils et sous le contrôle de M. Boucherie, conformément aux conventions faites entre M. Autier et M. Boucherie à la date du 21 mai 1852, dont copie est ci-jointe.

Les sommes à payer à M. Boucherie pour brevet, peines et soins, seront entièrement à la charge du fournisseur.

Toutes les expériences que la Compagnie fera, pour reconnaître si l'imbibition est complète, seront à la charge de l'entrepreneur.

ART. 9.

16. — La réception provisoire des bois sera faite sur les lieux de livraison par les soins d'un agent de la Compagnie désigné par l'ingénieur en chef.

Toutes les traverses seront examinées et mesurées avec le plus grand soin; celles admises recevront une marque à l'une de leurs extrémités.

Les bois reçus seront chargés sur wagons si la Compagnie peut en mettre à la disposition des fournisseurs aussitôt après la réception; dans le cas contraire, ils seront empilés avec soin sur les points qui seront désignés, et les fournisseurs seront alors dispensés d'en faire le chargement.

Les bois rebutés recevront une marque aux points de pose

des coussinets et seront empilés avec soin sur les emplacements spéciaux qui seront indiqués aux fournisseurs. Ces bois ne seront enlevés qu'avec l'autorisation de l'ingénieur en chef de la Compagnie qui pourra les retenir jusqu'à ce que la fourniture soit complète, notamment pour qu'on ne présente pas de nouveau à la réception des bois rebutés.

17. — Le mesurage sera fait de cinq en cinq centimètres pour les longueurs, de centimètre en centimètre pour les largeurs et de demi-centimètre en demi-centimètre pour les épaisseurs. Toute fraction de cinq centimètres pour les longueurs, de centimètre pour les largeurs et de demi-centimètre pour les épaisseurs ne sera pas comptée.

Toutes les pièces qui auraient une, ou, à plus forte raison, deux dimensions inférieures à celles qui sont indiquées comme minimum, seront refusées. Celles qui auraient des dimensions supérieures à celles indiquées comme maximum pourront être admises, mais sans qu'il soit tenu aucun compte de l'excédant.

Le cube moyen des traverses ne pourra pas être inférieur à celui qui résulte des dimensions supérieures et inférieures, pour chaque catégorie de bois; en cas d'insuffisance, on mettra au rebut un certain nombre de pièces reçues dans les plus faibles dimensions, et le fournisseur sera tenu de les remplacer par des bois plus forts, de manière à satisfaire à la condition stipulée.

ART. 10.

18. — Tous les bois seront livrés et reçus sur les lieux de dépôt fixés par l'ingénieur en chef de la Compagnie.

Tous les frais de transport, de chargement ou de déchargement, de classement, d'empilement, et en général tous les frais quelconques de réception, seront à la charge du fournisseur.

On classera séparément les bois de chêne et les bois de hêtre et charme préparés.

ART. 11.

19. — La réception définitive des fournitures ne pourra avoir lieu que six mois après la réception provisoire.

Jusqu'à la réception définitive, la Compagnie conservera le droit de rebuter les traverses ayant des défauts qui auraient échappé à la réception provisoire, ou qui se fendraient par suite de la mauvaise qualité des bois.

20. — Les traverses reconnues défectueuses seront rendues sur le lieu de livraison au fournisseur, qui devra en tenir compte au prix de la fourniture, ou les remplacer, si la Compagnie l'exige.

ART. 12.

21. — Les fournitures seront payées sur le vu des procès-verbaux de réception provisoire, au fur et à mesure des livraisons qui seront faites, jusqu'à concurrence des neuf dixièmes ($9/10$) du montant des fournitures.

Le dernier dixième ($1/10$) formera une retenue de garantie qui ne sera soldée qu'après l'expiration du délai prévu à l'article précédent. L'ingénieur en chef pourra, s'il le juge convenable, faire cesser de croître cette retenue lorsqu'elle aura atteint le chiffre de vingt mille francs (20,000 fr.)

23. — Dans les cas où les réceptions auraient éprouvé des retards, il pourra être payé des à-compte sur les traverses approvisionnées aux lieux de livraison et non encore reçues, jusqu'à concurrence des trois cinquièmes ($3/5$) de leur valeur.

ART. 13.

23. — L'entrepreneur sera soumis, sauf les modifications ou dérogations qui pourraient résulter du présent cahier des charges, aux clauses et conditions générales imposées aux entrepreneurs de travaux pour le compte de la Compagnie du chemin de fer du Nord, dressées le 22 mars 1853 par l'ingé-

nieur en chef des ponts et chaussées chargé des travaux et de la surveillance, et approuvées le même jour par les Administrateurs de ladite Compagnie.

Aucune dérogation au présent cahier des charges et au cahier des clauses et conditions générales ne sera admise que si elle est prescrite ou autorisée par un ordre écrit de l'ingénieur en chef de la Compagnie que l'entrepreneur devra représenter à toute réquisition.

ART. 14.

24. — Les contestations qui pourraient s'élever entre la Compagnie et le fournisseur au sujet de l'exécution du présent cahier des charges seront jugées par le tribunal de commerce de la Seine.

ART. 15.

25. — L'enregistrement du présent sera à la charge de celle des parties qui l'aura rendu nécessaire.

NOTE SUR LE COUT DES WAGONS

EMPLOYÉS PAR MM. PARENT ET SCHAKEN.

Wagons à bascule, dits Wagons belges, système Parent-Schaken.

Roues de 0^m,70 de diamètre; essieu de 0^m,094.

4 roues, pesant ensemble.....	640 ^k	} 908 k., à 0 ^f 42 le k. } crampons compris. }	381 fr. 36
4 boltes à graisse..	70		
4 coussinets bronze.	6		
2 essieux.....	192		

Supplément des prix pour les coussinets en bronze.....	21	»
--	----	---

238 ^k 20 petits ferrements, y compris les chaînes d'attelage, à 1 fr. le kil.....	238	20
--	-----	----

(Ce prix a varié de 0,80 c. à 1 fr. 10.)

1 ^m ,263 bois de chêne débité et scié			
à 120 fr. le stère	151	fr. 56	
0 ^m ,264 bois de hêtre, à 80 fr.....	21	12	} 234 45
0 ^m ,258 bois de peuplier, à 65 fr....	16	77	
Façon de la charpente et pose des ferrements.....	45	»	

Goudronnage, plaque de numérotage et menus frais.....	24	99
---	----	----

Total.....	900 fr.	»
------------	---------	---

Documents.

5

Wagons à verser debout, système anglais modifié.

Roues de 0^m,75 de diamètre; essieu de 0^m,094.

4 roues, pesant ensemble.....	680 ^k	} 926 k., à 0 ^f 42 le k. } crampons compris. }	388 fr. 92
4 boltes à graisso..	70		
4 coussinets bronze.	6		
2 essieux.....	170		
Supplément de prix pour les coussinets en bronze.....			21 »
250 ^k 07 petits ferrements, y compris les chaînes d'attelage, à 1 fr., comme ci-dessus.....			250 07
0 ^m ,603 bois de chêne débité et scié, à 120 fr. le stère.....	72 fr. 36	} 138 61	
0 ^m ,181 bois de hêtre, à 80 fr.....	14 48		
0 ^m ,258 bois de peuplier, à 65 fr...	16 77		
Façon de la charpente et pose des ferrements.....	35 »		
Goudronnage, plaque de numérotage et menus frais.....			21 40
Total.....			<u>820 fr. »</u>

WAGON A BASCULE.

BOIS ET FER NÉCESSAIRES A LEUR CONSTRUCTION. (Voir planches J 1 et J 2.)

Lettres	Désignation des pièces de bois.	Essence	Nombre	Dimensions.			Cube		Surface		Poids	
				Longueur	Largeur	Épaisseur	partiel.	total.	partielle.	totale.	partiel.	total.
A	Longeron du chassis	Chêne.	2	2,840	0,160	0,230	0,100	0,300	0,354	0,308	90,00	180,00
a	Paix tampons	Id.	4	0,430	0,150	0,220	0,014	0,056	0,063	0,252	18,00	72,00
B	Traverses de tête	Id.	2	1,070	0,150	0,210	0,062	0,124	0,265	0,280	68,00	136,00
C	Traverses du milieu	Id.	2	1,570	0,130	0,150	0,044	0,089	0,205	0,200	40,00	80,00
D	Longeron du tirage	Id.	1	2,150	0,130	0,140	0,039	0,089	0,279	0,279	40,00	40,00
E	Consolides	Id.	3	2,000	0,150	0,210	0,063	0,189	0,300	0,300	80,00	180,00
e	Consolides de consoles	Id.	3	0,780	0,130	0,230	0,026	0,078	0,300	0,300	16,00	48,00
F	Pompes	Id.	2	0,580	0,130	0,150	0,041	0,082	0,019	0,038	24,00	24,00
f	Jambes de force des consoles.	Id.	2	0,580	0,130	0,150	0,041	0,082	0,019	0,038	24,00	24,00
G	Tourillon	Id.	1	2,480	0,080	0,080	0,005	0,012	0,072	0,144	5,00	10,00
g	Fourrure entre la traverse de longeron et le plancher de la caisse.	Id.	1	2,480	0,140	0,230	0,076	0,076	0,317	0,317	80,00	80,00
H	Longeron de caisse	Id.	1	2,440	0,070	0,110	0,026	0,036	0,285	0,285	28,00	28,00
I	Traverse de caisse de tête	Id.	2	2,440	0,130	0,160	0,045	0,086	0,297	0,297	46,00	92,00
I	Id.	Id.	1	2,440	0,160	0,130	0,045	0,086	0,297	0,297	46,00	46,00
J	Id.	Id.	1	2,410	0,130	0,130	0,043	0,083	0,274	0,274	40,00	40,00
K	Id. du milieu de la caisse.	Id.	1	2,310	0,130	0,130	0,027	0,057	0,268	0,268	38,00	38,00
L	Id.	Id.	1	2,300	0,130	0,130	0,027	0,057	0,268	0,268	38,00	38,00
M	Raquettes	Id.	4	0,360	0,030	0,030	0,005	0,025	0,077	0,351	6,00	24,00
N	Nerf	Id.	3	0,700	0,070	0,030	0,010	0,020	0,077	0,351	6,00	24,00
O	Plancher de la caisse.	Hêtre.	2	2,300	0,050	2,380	0,036	0,364	5,474	5,474	12,00	12,00
P	Id. de derrière de la caisse.	Peuplier.	1	2,300	0,050	2,380	0,036	0,364	5,474	5,474	12,00	12,00
P	Côte de la caisse.	Id.	2	2,300	0,050	2,380	0,036	0,364	5,474	5,474	12,00	12,00
Q	Fourrure	Id.	2	2,300	0,050	2,380	0,036	0,364	5,474	5,474	12,00	12,00
R	Porte de la caisse	Chêne.	1	2,340	0,070	0,230	0,033	0,034	0,078	0,078	33,00	33,00

NOTE

Sur les transports de terrassements en wagonnets, brouettes ou petits camions circulant sur des voies formées de rails à plat ou de plat-bords en bois, par M. BRABANT, Ingénieur-chef d'arrondissement à la compagnie de l'Est.

Indications
générales.

Depuis environ dix ans, l'on fait usage, dans l'exécution des terrassements, de petits wagons-brouettes ou camions qui, dans beaucoup de cas, remplacent avantageusement les tombereaux, et opèrent les transports à des prix sensiblement équivalents.

Dans beaucoup de circonstances, et notamment quand les inclinaisons sont faibles et que les distances commencent à être trop grandes pour des brouettes, ils peuvent les remplacer avec avantage et faire réaliser une économie notable.

Description
des véhicules.

Ces petits véhicules, qui pèsent moyennement 115 kilogrammes, sont composés d'une caisse dont la contenance est d'environ 0^m,28 cube; mais qui, eu égard au foisonnement, ne contient guère que 0^m,16 à 0^m,22, mesurés au déblai suivant la nature du terrain. Cette caisse repose sur un châssis en bois auquel est adaptée une flèche qui sert à la manœuvre. Le tout est supporté par une paire de roues en fonte de 0^m,45 de diamètre, dont les jantes sont un peu arrondies.

Le prix de revient de ces petits wagonnets, pour établissement, sont de 46 fr. ou 80 fr., suivant que les caisses sont en bois ou en tôle. Ces dernières sont de beaucoup préférables pour les travaux.

Les prix de revient pour moins-value, entretien et graissage, peuvent être ainsi évalués :

Par mètre cube de déblai transporté, à 0^f, 02^c.

Plus pour chaque distance de transport de 100^m à 0^f, 01^c.

Soit à 0^f, 02^c + (D × 0^f, 01^c), dans l'hypothèse où D représenterait une distance de transport à 100 mètres.

Les voies sont formées soit avec des rails ordinaires posés à plat, soit avec des plats-bords en bois. L'écartement de ces pièces mesuré d'axe en axe est égal à celui des roues 0^m,70. Elles reposent sur de petites traverses espacées de 2 à 3 mètres, suivant les circonstances. Ces traverses, et les pièces qui forment les voies, sont enterrées de façon que le dessus des rails ne dépasse guère le sol que de deux ou trois centimètres.

Quand les voies sont formées avec des rails ordinaires, les roues circulent dans la gorge qui se trouve entre les deux champignons.

Les plats-bords ou planches de roulage, susceptibles de tenir lieu de rails, ont généralement 0^m,24 de large, sur 0^m,06 d'épaisseur, leur prix est de 1 fr. par mètre courant, y compris de petits boulons aux extrémités destinés à les empêcher de fendre.

Les traverses ont 1^m,20 de longueur, elles sont formées avec des plats-bords de roulage hors de service.

La pose de ces voies peut être évaluée, en moyenne, à 0^f,05^c par mètre courant, et le démontage à 0^f,02^c.

La moins-value, les frais de transport du matériel, la pose, le démontage et l'entretien desdites voies peut revenir, par mètre cube de déblai transporté, à 0^f,06^c; plus, par chaque distance de 100 mètres, à 0^f,03^c.

Quel que soit le matériel dont les voies sont formées, rails ou planches de roulage, les prix sont sensiblement les mêmes, parce qu'il s'établit des compensations. C'est ainsi que la pose est moins coûteuse avec des rails qu'avec des planches; mais les dépenses pour transport de matériel varient en sens inverse.

On a vu plus haut que la moins-value pour wagonnets et voies en fer était de $[0^f,02^c + (D \times 0^f,01^c)]$.

On vient de voir que toutes les dépenses pour les voies étaient de $[0^f,06^c + (D \times 0^f,03^c)]$.

En sorte que toutes les dépenses du matériel sont représentées par $[0^f,08^c + (D \times 0^f,04^c)]$.

Organisation des
ateliers.

L'organisation des ateliers avec ces petits wagons est semblable à celle des ateliers à la brouette ; mais les volumes transportés sont, moyennement, cinq fois plus considérables, et les relais, au lieu d'être seulement de 30 mètres, sont de 100 mètres.

Frais
de transport.

Quand les wagons roulent sur des rails et que les transports se font horizontalement, un seul homme pousse un wagon.

La dépense pour le transport, à une distance horizontale de 100 mètres, peut être ainsi évaluée :

Un ouvrier terrassier, payé 2 fr. 50 c. par jour de dix heures, parcourt 30,000 mètres en poussant, sur voies horizontales, formées de rails en fer, un wagonnet portant 0^m,20 cubes de terre mesurée au déblai ; ce qui, eu égard au retour à vide, fait revenir le mètre cube, transporté à une distance de 100 mètres, à 0^f,08^c.

Lorsque les transports ont lieu sur plats-bords en bois, le prix est de moitié en sus, soit 0^f,12^c.

Quand les transports ont lieu en rampe, il faut, pour en tenir compte, ajouter aux distances de transports horizontales cent fois la hauteur entre les centres de gravité des déblais et des remblais.

Le temps perdu à la charge et à la décharge peut être évalué comme pour les transports à la brouette, à 0^f,04^c par mètre cube.

En représentant :

Les distances de transport de 100 mètres par..... D ;

La hauteur verticale entre les centres de gravité des déblais et des remblais par..... H ;

Et les prix de transport par..... P.

On obtiendra ces prix au moyen des deux formules suivantes :

(1) Pour transport sur rails $P = [(D + 100H) \times (0,08 + 0,04)] + (0,08 + 0,04) = ;$

(2) Pour transport sur plats-bords $P = [(D + 100H) \times (0,12 + 0,04)] + (0,08 + 0,04) =$

Si l'on faisait $D = 560$,

Et $H = 0,40$,

On obtiendrait :

Par la formule n° 1. $P = [(560 + 40) \times (0,12)] + 0,12 = 0,84$.

Par la formule n° 2. $P = [(560 + 40) \times (0,16)] + 0,12 = 1,08$.

L'installation d'un service de petits wagonnets, et surtout l'établissement des voies, occasionnant des frais qui sont toujours les mêmes, quels que soient les volumes à transporter, il en résulte qu'on ne peut guère faire usage de ce mode de transport avec de trop faibles quantités, mais on peut descendre jusqu'à des cubes de 300 mètres et des distances de 125 mètres.



RAPPORT DE M. DAIGREMONT,

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSEES,

SUR LES TRAVAUX DE TERRASSEMENT EXÉCUTÉS SOUS SA DIRECTION AU CHEMIN DE FER
DE L'EST.

PLANCHE A, 9.

Après avoir parlé de différents essais qu'il a faits pour dessécher les talus des tranchées glaiseuses, M. Daigremont s'exprime en ces termes :

Nous nous sommes enfin arrêté à un système déjà employé en Allemagne, et qui consiste à ouvrir une saignée étroite parallèle à la tranchée, et seulement du côté où les éboulements sont à craindre, et à recueillir les eaux de suintement au fond de cette saignée; nous allons indiquer comment on a réussi à rendre ce travail économique.

Description du système de consolidation adopté.

Nous ferons d'abord remarquer que si le terrain perméable s'arrête à la ligne CD (fig. 1), on se contente de faire descendre la saignée un peu plus bas que cette ligne, et l'on peut alors considérer le prisme de terre asséchée ABED comme formant un mur de soutènement assis sur une base solide CD : si la tranchée se compose de terrains perméables dans toute sa hauteur, il faut descendre un peu plus le fond de la saignée. Nous verrons tout à l'heure comment nous avons été conduit à placer dans tous les cas des drains sous la plate-forme du chemin de fer, comme le représente le croquis ci-contre (fig. 2), de sorte qu'en supposant la tranchée composée dans toute sa hauteur d'une argile perméable, (il y a de ces argiles qui s'éboulent très-facilement), le point A doit être descendu assez

bas pour que le massif asséché ABEDC, reposant sur le plan incliné AC, et s'appuyant contre la partie solide CDC'D' puisse résister à la poussée des terres situées à gauche de AB.

Creusement
des tranchées
de drainage.

Il peut se présenter deux cas dans le creusement des saignées parallèles aux tranchées; ou bien l'on y rencontre peu ou point d'eau, ou bien l'on y trouve des suintements abondants.

Le premier cas se présente assez fréquemment et ne prouve pas que le travail soit inutile, car on opère généralement pendant la saison sèche, et les terrains perméables peuvent alors être tout à fait exempts de l'eau qui les sature en hiver. Nous avons réussi dans cette circonstance à supprimer entièrement les blindages en remplaçant les saignées continues par une série de fosses oblongues A, A', A'' (fig. 3), séparées par des massifs B, B', etc., d'environ 1^m50 d'épaisseur; on perce ensuite ces massifs par-dessous, sur une longueur de 0^m75 de chaque côté, opération que tout ouvrier terrassier peut faire aisément.

Dans le deuxième cas, c'est-à-dire si l'on rencontre dans la saignée une quantité d'eau notable, le procédé de blindage naturel cesse d'être applicable; il faut alors attaquer le travail par l'aval, en le blindant avec plus ou moins de soin, suivant la nature du sol; mais dans cette hypothèse, et en admettant que la saignée ait quelque profondeur, on se dispense de retirer toutes les terres de la fouille, et l'on dispose l'atelier comme l'indique la figure 12, 13 et 14; on économise ainsi 60 p. 100 sur la dépense. Ajoutons qu'en tout cas, la saignée a juste la largeur nécessaire pour permettre aux ouvriers de travailler; il ne faut pas dépasser 0^m50 dans le fond.

Pose des tuyaux
de drainage.

A mesure qu'une portion de tranchée auxiliaire se trouve à profondeur, on y pose des tuyaux de drainage, qui doivent présenter une pente bien uniforme; nous n'avons admis aucune inclinaison inférieure à 0^m005 par mètre, bien qu'on descende souvent à 0^m003 dans le drainage agricole; mais nous avons pensé qu'en raison de l'importance du travail, il valait mieux nous tenir au-dessus de la pente limite adoptée par les draineurs, afin d'être bien assuré d'éviter tout engor-

gement dans les tuyaux. Par le même motif, nous n'avons employé pour les drains longitudinaux que des tuyaux d'au moins 0^m063 de diamètre, quand même ces tuyaux n'avaient à débiter que quelques gouttes d'eau par jour (1).

Le drain longitudinal est toujours entouré de matières filtrantes ; quand les eaux sont peu abondantes, ces matières filtrantes sont simplement de la terre végétale ou du gazon, qu'on étend au fond de la fouille sur une épaisseur de 0^m30 environ ; on emploie aussi le sable ou la terre sableuse, quand on en a sous la main. Mais dans les cas les plus difficiles, on a recours au gravier ou bien à la pierre et à la brique cassées ; on n'en met jamais qu'une couche assez épaisse pour être sûr que le tuyau ne sera pas envasé.

On a également soin de mettre de la mousse, des roseaux ou du gazon à chaque joint de tuyaux, afin d'empêcher l'introduction de l'eau trouble dans le drain.

On pratique ensuite dans la paroi de la tranchée de drainage opposée au chemin de fer une série de rainures verticales, dans lesquelles on place des tuyaux de drainage, ceux-ci sont garnis de roseau à leurs joints ; on les arrête à quelque distance (0^m50 à 1^m) du sol, et l'on bouche le dernier tuyau avec un tampon de roseaux ; à la partie inférieure, ces drains communiquent avec le drain longitudinal ; on les espace de 2 en 2 mètres, et on leur donne un faible diamètre ; nous avons adopté celui de 0^m037.

Cette opération terminée, on remplit la fouille avec les terres qui en ont été primitivement extraites, en les pilonnant avec le plus grand soin ; on arrive ainsi à couper toutes les veinules perméables existant dans le terrain naturel et à

Combien
de la tranchée
de drainage.

(1) Tous les tuyaux (à l'exception de quelques tuyaux d'un grand diamètre, faisant office de conduits) ont été posés sans manchons : l'emploi des manchons paraît dangereux quand on pilonne fortement les terres.

former une sorte de batardeau qui arrête les eaux de filtration et les fait descendre dans les tuyaux de drainage.

Si l'on néglige de pilonner fortement les terres, elles se tassent bientôt, se gercent, et à la première pluie qui survient, les eaux remplissent la saignée, se troublent en traversant ce sol fraîchement remué, bouchent les tuyaux de drainago, et donnent lieu à des éboulements beaucoup plus considérables que si l'on avait laissé les choses à l'état naturel; c'est ce qui nous est arrivé par la faute d'un chef d'atelier à la tranchée n° 16 (1^{re} section), dont nous reparlerons plus loin.

Pour se mettre complètement à l'abri de pareils accidents, il est bon de faire visiter, après chaque pluie, les tranchées de drainage déjà remblayées, et de faire recharger en terre pilonnée toutes les parties qui se sont fendues et ont éprouvé des tassements.

Des fossés supérieurs.

On sait que les fossés supérieurs placés sur la crête des tranchées pour arrêter les eaux pluviales et empêcher le ravinement des talus constituent pour les tranchées un danger permanent, et donnent lieu à des éboulements considérables, en raison de la stagnation des eaux, quand on n'a pas le soin de leur donner une grande pente, chose souvent difficile, et qu'on néglige de les entretenir en très-bon état. Rien de pareil n'est à craindre avec le système d'assainissement que nous venons de décrire, pourvu que l'on place les fossés supérieurs un peu au delà des drains verticaux AB (fig. 4); il est bien évident, en effet, que ces drains empêcheront toujours la production d'un banc de glissement tel que CDE, puisque les eaux de filtration, parvenues au point D, iront rejoindre le drain longitudinal A.

Précautions à prendre contre l'engorgement des tuyaux.

Les rats, les souris et d'autres animaux s'introduisent fréquemment dans les tuyaux de drainage et les obstruent; en outre, les eaux qui s'y rassemblent sont souvent incrustantes, et laissent déposer du carbonate de chaux, du peroxyde de fer, dès qu'elles arrivent au contact de l'air; enfin, à la faveur de l'air et de la lumière, certains végétaux se développent

quelquefois dans les drains; on évite ces graves inconvénients en recourbant les tuyaux à leur extrémité, et en la faisant plonger dans un petit réservoir d'eau (fig. 5).

Si quelques portions de tuyaux s'engorgent pendant l'exécution des travaux, on les nettoie facilement au moyen d'une pompe foulante.

Dans les tranchées d'une grande longueur, le système de drainage précédemment décrit présente quelque danger; en effet, les eaux de filtration, suivant le drain longitudinal, se partagent en deux directions opposées au point culminant de la tranchée, et ne s'écoulent que par les deux extrémités du tuyau, et si l'écoulement cessait par hasard à l'une de ces extrémités, on reconnaîtrait bien que le drain est obstrué, mais on ne pourrait pas savoir en quel point, et l'on serait exposé à recommencer entièrement un travail coûteux. Il faut donc nécessairement établir de distance en distance des drains transversaux AC (fig. 6), ayant pour objet de mettre en communication le tuyau longitudinal A avec la tranchée du chemin de fer.

Établissement
de drains
transversaux.

Mais il se présente alors un autre inconvénient; les eaux de filtration, très-abondantes dans quelques tranchées, et coulant été comme hiver dans les fossés, ramollissent peu à peu la plate-forme, rendent la voie mauvaise, et provoquent au pied des talus des éboulements fréquents, tels que CD (fig. 6); ces éboulements comblent le fossé, arrêtent les eaux, et le mal se propage avec rapidité; on se trouve dès lors conduit à perreyer le pied des fossés, solution coûteuse et insuffisante.

Drainage
de la plate-forme.

En admettant même qu'il n'y ait pas d'eaux de filtration reçues dans les fossés d'une tranchée, il arrive souvent, si cette tranchée a peu de pente, que les eaux pluviales y séjournent et produisent les effets ci-dessus décrits; en outre, l'inclinaison transversale de la plate-forme étant et ne pouvant être que très-faible, le dessous des traverses reste toujours humide, et comme ces traverses fléchissent au passage de chaque train, elles pétrissent peu à peu la glaise de la plate-forme, et la voie finit par être détestable.

Ces différentes considérations nous ont engagé à drainer la plate-forme de toutes les tranchées glaiseuses, opération qu'on a déjà pratiquée en Allemagne avec le plus grand succès; nous avons placé un drain sous chaque fossé du chemin de fer; cette disposition nous a paru plus efficace que celle qui consiste à poser un seul drain dans l'axe de la voie. On nous a, il est vrai, objecté qu'en faisant ainsi une coupure au pied du talus, nous risquions de provoquer des éboulements; mais jusqu'à présent, cela ne nous est point arrivé, et en ayant soin de bien pilonner les remblais au-dessus des tuyaux, ils deviennent en quelques jours, et comme tout le reste de la plate-forme, aussi durs quo l'aire d'une grange.

Les tuyaux de la plate-forme se posent comme les autres, avec plus ou moins de matières filtrantes suivant les cas; ils reçoivent, au moyen des drains transversaux dont il a été question plus haut, les eaux de filtration venant des drains supérieurs; enfin, tous les 100 mètres, on placera un petit regard maçonné (fig. 7) au-dessus des drains de la plate-forme, afin de recueillir les dépôts qui pourraient se former, et de s'assurer si tout le système fonctionne bien. Ajoutons que ces regards ne devront guère être visités que pendant un certain nombre de mois après l'achèvement des travaux; car un drain bien établi ne s'engorge jamais, et quand on en aura réparé les malfaçons qui auraient pu se produire, la surveillance deviendra presque entièrement inutile.

Nous avons fixé à 1^m,20 la profondeur moyenne des drains en contre-bas de la plate-forme, et nous n'avons fait en cela qu'imiter ce que l'on a exécuté sur les chemins allemands, et ce que l'on adopté en Angleterre pour le drainage agricole.

Il est du reste reconnu en France par tous les auteurs qui ont écrit sur le drainage, que dans les terres fortes on ne doit pas poser les tuyaux à moins de 1^m,20; or, il est bien évident qu'une plate-forme de chemin de fer doit être asséchée au moins aussi bien qu'un champ, qui doit toujours conserver une certaine humidité favorable à la végétation; aussi pen-

sons-nous avoir fait le strict nécessaire en adoptant la profondeur de 1^m20. Ajoutons que les drains de la plate-forme sont distants d'environ 10 mètres, ce qui correspond à peu près à l'espacement adopté en agriculture.

Nous avons parlé au commencement de cette note d'un cas qui se présente fréquemment, celui où il existe une nappe d'eau qui n'est pas coupée par la tranchée, et qui est douée d'une pression assez forte pour soulever la plate-forme, si elle est imperméable, et pour la transformer en bouillie, si elle est perméable. Il faut toujours faire quelques sondages pour examiner si l'on n'a pas cette difficulté à combattre, et si l'on reconnaît l'existence d'une couche aquifère, il faut tâcher de savoir ce qu'elle peut débiter de litres d'eau par minute. Ce point difficile une fois fixé, on assainit la plate-forme en descendant le drain A (fig. 8) au milieu de la couche aquifère; il est bon en ce cas de ne pas économiser les blindages et les matières filtrantes. Il faut toujours mettre le drain A du côté du drain supérieur, c'est-à-dire du côté où le sol est le plus élevé, tout le succès de l'opération dépend d'ailleurs du diamètre du tuyau A; si ce diamètre se trouvait insuffisant, la sous-pression de la couche aquifère ne serait pas détruite, et le travail serait à recommencer.

Cas où il existe une couche aquifère sous la plate-forme

En terminant ces généralités relatives aux assainissements, nous dirons que, dans notre opinion, on peut toujours ou presque toujours donner aux talus de déblai l'inclinaison de 45°, si on les assainit par les moyens que nous avons développés; si nous avons donné à un certain nombre de talus de tranchées l'inclinaison de 1^m50 de base sur 1^m de hauteur, c'est que nous avions besoin de terre pour les remblais; mais lorsque cette circonstance ne s'est pas présentée, nous avons adopté l'inclinaison de 45°. Pour un déblai de 6^m de profondeur, en augmentant ainsi la roideur de la pente de 0^m50 par mètre, on économise 18 mètres cubes, c'est-à-dire 27 francs par mètre courant de tranchée, en appliquant le prix payé à MM. Parent et Schaken; c'est plus que ne coûtent l'assainis-

Inclinaison des talus des tranchées.

sement et le revêtement des talus, même dans des cas assez difficiles.

EXEMPLES ET CAS PARTICULIERS.

Tranchée de PETIT-CROIX,
(tranchées n° 1
et n° 2 de la
1^{re} sect.) voir
la figure 9.

La tranchée n° 1 n'a que 0^m,75 de hauteur maximum, et une longueur de 200^m; mais elle est tourbeuse, et, avant l'assainissement, on a dû y enfouir 1,500 à 1,800 fascines pour y établir la voie nécessaire au transport des terres. On a, pour l'assainir, creusé un drain à 1^m,60 en contre-bas de la plateforme, à travers la tourbe et l'argile plastique (voir la coupe *ab*) ; cette argile a été soulevée par la pression des eaux, avant qu'on eût atteint le gravier aquifère sur lequel elle repose ; aussi a-t-on été obligé de faire une partie des déblais avec des seaux, et de blinder très-fortement. Le travail exécuté a déjà fait beaucoup de bien, et les drains posés donnent une grande quantité d'eau ; cependant, comme la couche aquifère est très irrégulière, il faudra la couper de nouveau par des drains marqués en vert sur le plan, pour obtenir un assèchement complet ; mais le travail à faire sera rendu plus facile par celui qui est exécuté aujourd'hui. Voici l'estimation des dépenses :

Dépenses faites.

Acquisition et transport à pied d'œuvre des tuyaux.....	95 fr. 00 c.
Acquisition et transport à pied d'œuvre des matières filtrantes.....	125 »
Creusement de 260 ^m courants de fouilles, épaissements, pose des tuyaux et des matières filtrantes, façon et pilonnage des remblais..	1,675 »
Transport, pose et dépose des bois de blindage.....	123 »
Surveillance et faux frais.....	48 »
	2,066 »

Prix du mètre courant de drain exécuté, à 1^m,60 de profondeur, dans des circonstances très-difficiles, 7 fr. 94 c.

Dépenses à faire.

260 ^m courants de drains à 5 francs.....	1,300	»
Total.....	3,366 fr. 00 c.	

La longueur totale assainie est de 250^m, ce qui met le prix du mètre courant de plate-forme asséchée à 13 fr. 46 c.

Le sol de la tranchée n° 2 se compose d'une argile jaune et blanche complètement imperméable, reposant sur une couche aquifère composée de sable et de gravier : en approchant de cette couche, dont la sous-pression est d'ailleurs peu considérable, la glaise s'est détremée sous les pieds des chevaux, et toute la plate-forme s'est trouvée réduite en bouillie, où l'on enfonçait jusqu'au genou ; en quelques points même, on aurait eu de la vase jusqu'à la ceinture ; les talus ne s'éboulaient point, en raison de la nature imperméable du sol.

Tranchée n° 2, fig.
3, 10, 11, 12,
13 et 14.

L'Entreprise a dû abandonner le chantier, et l'on a attaqué l'assainissement de deux côtés à la fois, 1° par un drainage longitudinal de 1^m,60 de profondeur moyenne CD ; 2° par un drainage transversal EF de 125^m de longueur et de 5^m,70 de profondeur maximum : c'est dans ce drainage transversal qu'on a disposé l'atelier, comme l'indiquent les figures 12, 13 et 14 ; la direction transversale de ce travail a été motivée par la situation de la tranchée à flanc de coteau, et l'on s'est avancé vers le piquet 14^a, parce que c'était en ce point que les eaux surgissaient avec le plus d'abondance. Le succès de l'opération a été tel que, trois jours après l'achèvement du drain EF, la plate-forme s'est trouvée parfaitement sèche et praticable aux chevaux.

En septembre, c'est-à-dire pendant la saison où les sources donnent le moins, on a mesuré en E, à la sortie du tuyau, un

débit de 160 litres par minute, soit de 230^{m³} par jour : au printemps, on peut compter sur un débit double ou triple.

Il ne reste plus pour compléter l'assainissement de cette tranchée qu'à prolonger le drainage de la plate-forme du piquet 14 au piquet 18^a, travail qui n'offrira pas de difficulté, parce que la plate-forme est déjà bien asséchée. On remarquera que, dans cette tranchée, nous n'avons pas projeté de drain à droite de la plate-forme ; cette exception tient à la nature graveleuse du fond de la tranchée, qui fait office de filtre.

Les talus de la tranchée n° 1 étant taillés dans un terrain imperméable, il n'y a pas lieu de les assainir ; cependant, comme on a dû établir un fossé de ceinture très-près de la crête du talus gauche, on placera sous ce fossé un drain de petit diamètre, placé au plus à 1^m,00 du sol, pour éviter les dangers résultant de la stagnation des eaux dans le fossé. Ce petit drain supérieur sera relié de distance en distance avec le drain de la plate-forme.

Voici l'indication des dépenses faites et à faire dans la tranchée n° 2 :

Dépenses faites.

1° Drain longitudinal, du piquet 11 au piquet 14.

Fourniture des tuyaux.....	103 fr.
Fourniture des matières filtrantes.....	260
Creusement de 320 ^m courants de fouille, pose des tuyaux, etc.....	1,632
Fourniture, pose et dépose des bois de blindage	235
Surveillance et faux frais.....	190
Total.....	2,420 fr.

Prix du mètre courant, à 1^m,60 de profondeur, dans des circonstances difficiles, 7 fr. 55 c.

2° *Drainage transversal EF.*

Fourniture de tuyaux de 175 ^{mm}	680 fr.
Id. de matières filtrantes.....	437
Creusement de 125 ^m courants de fouille, etc..	2,488
Fourniture, pose et dépose des bois de blindage	435
Surveillance et faux frais.....	280
Total.....	4,320

Prix du mètre courant à 5^m,70 de profondeur maximum, 34 fr. 50 c.

Montant total des travaux faits... 6,740

Dépenses à faire.

500 ^m de drains le long de la plate-forme, à 4 fr. 50 c.....	2,250
700 ^m courants de drain supérieur, à 1 fr.....	700
Drains transversaux, etc.....	300
8000 ^m ² de revêtements, à 0 fr. 10 c.	800

Total des dépenses à faire..... 4,050

Total général..... 10,790 fr.

Il en résultera, par mètre courant de tranchée, une dépense de $\frac{10790}{160}$, soit 15 francs 40 c. pour une profondeur maximum de 5^m,00.

La tranchée n° 14 nous a donné beaucoup de souci : l'Entreprise a commencé à l'ouvrir vers la fin de 1855; la tranchée était mauvaise, mais nous ne soupçonnions pas l'existence d'une couche de sable aquifère située sous la plate-forme, et dont la présence s'est révélée tout à coup, au mois de décembre, par un soulèvement général des voies, soulèvement qui a atteint 1^m,50, et par des éboulements qui se sont propagés rapidement jusqu'à 15^m du cimetière de Dannemarie.

Tranchée du cimetière de Dannemarie (tranchée n° 14, 1^{re} section), voir la figure 15.

Nous avons aussitôt mis, en Janvier 1856, soixante ouvriers à l'assainissement de la tranchée, et nous avons réussi à établir un premier drain, que nous avons rempli de moellons; nous n'avions pas encore à cette époque de tuyaux de drainage. Les mouvements se sont arrêtés; mais le travail n'avait pas été poussé à une assez grande profondeur, à cause de la difficulté de maintenir les terres délayées par la neige fondante. Aussi avons-nous remarqué de nouveaux mouvements après les pluies de juin 1856. On a repris le travail, approfondi la partie déjà établie remanié et drainé les éboulements, et descendu de nouveaux drains parallèles au chemin de fer, au milieu de la couche aquifère; la poussée était tellement forte, quand on a creusé la fouille du drain inférieur longeant la plate-forme, que les étré sillons de blindage laissaient une empreinte très-sensible sur les montants contre lesquels ils s'appuyaient. Aujourd'hui tous les mouvements se sont arrêtés, sauf près du piquet 130, sur une longueur de 25^m, où l'Entreprise ne nous a pas encore laissé commencer l'assainissement inférieur; du reste, les mouvements qui ont encore lieu en un seul point, et qui n'ont plus lieu ailleurs, prouvent l'efficacité des travaux déjà exécutés.

Il existe dans la tranchée n° 14 une particularité : c'est qu'en face du piquet 129 on a établi un drainage supérieur des deux côtés du chemin de fer; on a été conduit à cette disposition, parce qu'on a rencontré dans cette portion de tranchée une inflexion des couches du sous-sol, et que les eaux peuvent arriver par filtration sur les deux talus à la fois.

Il faut ajouter, pour l'intelligence de la coupe FG, que le lehm et la couche argileuse bleue qui forment le terrain de la tranchée sont doués d'une certaine perméabilité.

Les drains de la tranchée n° 14 débitent très-peu d'eau; cependant, depuis qu'ils fonctionnent, les fosses creusées dans le cimetière restent toujours à sec, tandis qu'auparavant elles étaient en quelques heures envahies par les eaux, qui remontaient de la couche de sable *aquifère*.

On a dépensé à la tranchée n° 14, pour établir 894^m courants de drains, une somme de 5,688 fr., ce qui met le prix du mètre courant à 6 fr. 30 c. On avait déjà dépensé en janvier 1856, pour le premier travail, qui a dû être repris, environ 3,500 fr., ce qui porte la dépense totale à 9,188 fr.

Voici l'évaluation de la dépense qui reste à faire :

30 ^m de drains à 6 fr. 50 c.....	195 fr.
320 ^m de drains à 3 fr. 50 c.....	1,120
Revêtement de 4,500 ^m carrés de talus.....	450
Total.....	1,765
Rappel de la dépense déjà faite.....	9,188
Total général.....	<u>10,953 fr.</u>

La tranchée ayant 300^m de longueur, cela porte le prix du mètre courant à 36 fr. 50 c. pour une profondeur maximum de 5^m,60, ou bien cela met le prix du mètre carré de talus assaini à 2 fr. 43 c. ; mais cette dernière manière de compter n'est pas très-satisfaisante, puisqu'il a fallu, dans l'espèce, faire des travaux d'assainissement aussi coûteux pour la plate-forme que pour les talus ; il serait donc assez naturel d'ajouter la superficie de la plate-forme à celle des talus, et de dire que la surface assainie est de $4,500 + (300 \times 11) = 7,800^m$ carrés ; cette nouvelle façon de calculer porterait le prix du mètre carré assaini à 1 fr. 40 c.

Remblai n° 15.

Le remblai n° 15 a éprouvé quelques mouvements au printemps de 1856, un peu au delà du piquet 140 : Un examen attentif a démontré que le sous-sol avait cédé sous le poids du remblai, et qu'il était traversé par plusieurs sources ; on les a coupées au moyen d'un drainage, qui a toujours donné une grande quantité d'eau, même pendant la saison sèche. Mais le tassement du sous-sol n'était pas le seul accident qui se fût produit : le remblai lui-même avait coulé, et cela venait

de ce qu'il était formé de couches minces de glaise plastique alternant, suivant l'inclinaison, avec des couches de sable micacé, formant banc de glissement : on comprend que cet effet se produit nécessairement toutes les fois qu'une tranchée fournit des veines alternatives de terres de natures différentes, et qu'on fait avec ces terres un remblai au wagon. On a remédié au mal en ouvrant, pendant un temps sec, une série de coupures dans le remblai ; on a successivement approfondi ces coupures jusqu'à 2^m, et, quand leur paroi s'est trouvée bien sèche, on les a remplies avec les terres qu'on en avait extraites, et qui avaient eu elles-mêmes le temps de se sécher ; après avoir rempli et pilonné ces premières coupures, distantes de 4^m l'une de l'autre, on en a fait de nouvelles dans les intervalles, sans recourir en aucune façon aux tuyaux de drainage et aux matières filtrantes : depuis que ces travaux ont été faits, le remblai n'a plus éprouvé de mouvements.

Aujourd'hui l'Entreprise fait au wagon un remblai avec les terres venant de la tranchée du Dockenberg, et dans lesquelles on rencontre alternativement de la glaise humide et du sable micacé rempli d'eau ; le remblai a commencé à couler, mais, dès qu'on s'en est aperçu, on a eu soin de mettre à la décharge deux ouvriers qui mêlent ces matières ensemble, de façon à couper tous les bancs de glissement ; on espère obtenir de la sorte un remblai qui s'affermira rapidement.

Nous ajouterons toutefois que ces procédés économiques ne nous paraissent pas applicables aux remblais entièrement composés de glaise humide ; il faut alors recourir aux coupures remplies de moellons ou autres matières filtrantes, et le mieux est encore d'éviter de faire de pareils remblais.

Tranchée n° 15,
tranchée n° 16
(1^{re} section).
Voir les figures
16 et 17.

La tranchée n° 15 offre l'application pure et simple des principes généraux qui ont été développés au commencement de cette note ; aussi n'insisterons-nous pas sur les travaux de cette tranchée. Voici l'estimation des dépenses faites et à faire pour l'assainir :

Dépenses faites.

Fourniture de tuyaux.....	119 fr.
Id. de matières filtrantes.....	32
Main-d'œuvre de terrassements, etc., sur une longueur de 333 ^m	999
Frais de blindage.....	19
Surveillance et faux frais.....	52
Total.....	<u>1,221</u>

Cela met le prix moyen du mètre courant de drain, dans des circonstances favorables, à 3 fr. 65 c. pour une profondeur variable de 1^m,50 à 4^m.

Dépenses à faire.

1,000 ^m courants de drains de 1 ^m ,20 à 1 ^m ,50 de profondeur, à 2 fr. le mètre courant.....	2,000
200 ^m courants de drains de 1 ^m ,50 à 4 ^m de profondeur, à 3 fr. 65 c. le mètre courant.....	730
Revêtement de 8,400 ^m carrés de talus.....	840
Total des dépenses à faire..	<u>3,570</u>

Total général des dépenses faites et à faire.. 4,791 fr.

La tranchée ayant 460^m de longueur, cela porte le prix d'assainissement d'un mètre courant à 10 fr. 40 c., et le prix du mètre carré de talus à 0 fr. 57 c., la profondeur maximum de la tranchée étant d'ailleurs de 10^m,80.

La tranchée n° 16 se compose dans toute sa hauteur, dont le maximum est de 5^m,20, de terrains très-perméables, saturés d'eau, traversés par des sources, et s'éboulant avec la plus grande facilité; on remarquera que, du piquet 155 au piquet 156, on a établi une ligne de drains au milieu de la plate-forme, au lieu d'en placer une sous chaque fossé; c'est que ce drain central a été placé avant que la tranchée ne fût

à largeur, et pour arrêter le plus tôt possible les éboulements qui ne cessaient de se produire ; cette portion de tranchée se trouve du reste bien asséchée aujourd'hui.

Mais il n'en est pas de même de la partie comprise entre les piquets 156 et 158 ; les remblais du drain supérieur ont été peu ou point pilonnés, de sorte que le tuyau s'est obstrué, et il s'est formé, aux premières pluies, un éboulement marqué en pointillé sur la coupe AB ; aujourd'hui, il y a dans la tranchée 1^m,50 à 2^m de boue liquide ; on a commencé une tranchée de drainage très-profonde à quelques mètres de l'axe de la voie, sur le chemin de Fülleren à Ballersdorff, mais on ne sait pas encore exactement comment on dirigera les travaux ; cela dépendra de l'effet qu'ils produiront à mesure qu'on les poussera en avant : en tout cas, ce sera un travail terminé en une quinzaine de jours. On a dépensé à cette tranchée une somme de. 2,000 fr.

Les nouveaux travaux coûteront au plus..... 4,000

Total..... 6,000 fr.

Cela fera 18 fr. par mètre courant de tranchée, ou 1 fr. 33 c. par mètre carré de talus assaini.

Tranchée du Dockenberg (tranchée n° 1, 2^e section), voir les fig. 48 à 24.

La tranchée du Dockenberg a 1,600^m de longueur, 20^m de profondeur maximum, et cube 250,000^m ; elle traverse un col un peu obliquement ; de l'origine de la tranchée au piquet 11, le terrain offre généralement un profil concave ; du piquet 11 au piquet 16, les eaux pluviales viennent seulement du côté gauche ; mais à droite, se trouve le ruisseau dit Baechlé, dont les hautes eaux, entre les piquets 14 et 15, sont à un niveau supérieur à celui de la plate-forme ; aussi doit-on établir des bourrelets en remblai pilonné de chaque côté de la tranchée.

Si on pénètre en dessous de la surface du terrain, on trouve que les couches du sous-sol sont inclinées de droite à gauche entre les piquets 0 et 7 ; au delà l'inclinaison devient inverse.

Du piquet 0 au piquet 7, il est inutile d'assainir le talus gauche de la tranchée ; on n'a jamais remarqué sur ce talus

aucune filtration ni aucune trace d'éboulement. L'assainissement du talus droit, opéré suivant la règle générale, est complet jusqu'au piquet 2 : le travail a été difficile, et les drains donnent une quantité d'eau considérable; mais le résultat est satisfaisant. Du piquet 2 au piquet 7, l'assainissement n'est pas encore complet, la tranchée n'étant pas à profondeur; on craint qu'il ne soit très-difficile entre les piquets 2 et 3, parce qu'on commence à trouver, sous le sable et le grès molasse donnant passage à des filtrations abondantes, une couche de marne verdâtre entièrement détrempée; on ne s'est encore arrêté à aucune disposition pour l'assainissement de cette portion de tranchée.

Entre les piquets 3 et 4, il s'est manifesté, au moment où l'Entreprise terminait le talus, un éboulement assez important qu'on a drainé à ciel ouvert, au moyen de coupures parallèles entre elles et perpendiculaires à la direction du chemin de fer. Puis on s'est empressé, pour empêcher la propagation de cat éboulement, d'ouvrir des galeries de mine; deux de ces galeries auront des branches en retour; on se propose en outre de réunir ces galeries au drainage supérieur par des trous de sonde.

Le système des galeries de mine paraît réussir, et on a l'intention de l'appliquer jusqu'au piquet 6; au delà de ce point, et jusqu'au piquet 10, on n'a pas encore de projet arrêté; on rencontrera sans doute un très-mauvais terrain au fond de la tranchée, dans le voisinage du passage supérieur n° 1, dont les fondations ont été difficiles à cause des sources qui surgissaient dans les fouilles.

Entre le piquet 11 et l'extrémité aval de la tranchée, s'est trouvé dans des circonstances très-difficiles; le sous-sol se compose de terrain de transport reposant sur une couche de sable micacé aquifère, qui coule avec une grande facilité; on a dû non pas déblayer, mais épuiser une grande partie des tranchées de drainage ouvertes dans ce sol; il a fallu multiplier les blindages, et les abandonner fréquemment dans les

fouilles, arrêter les éboulements du sable avec des saucissons remplis de gravier, et, en quelques points, établir les tuyaux de drainage sur pilotis, pour les empêcher de disparaître dans la vase.

Il a été nécessaire de maintenir par un drainage les deux talus; à gauche, à cause de la pente du sol et de l'inclinaison des couches; à droite, à cause des eaux de filtration du ruisseau du Baechlé; encore s'est-on trompé une première fois en assainissant le talus gauche, et a-t-on été obligé de recommencer un deuxième travail, parce qu'on n'était pas descendu assez bas, et que les éboulements du talus continuaient (voir la coupe DE, près du piquet 13). Du reste, le premier drainage exécuté servira à recueillir les filtrations du fossé supérieur, qui recevra pendant les orages de grandes quantités d'eau.

Quant au drainage de la plate-forme, il a été impossible de le descendre à plus de 1^m,50, et il existe entre les piquets 11 et 13 un bourbier qu'on craint de ne pas assécher avec ce premier travail d'assainissement; cependant le double drainage pratiqué sous les deux fossés de la plate-forme raffermira un peu le terrain, et l'on pourra entreprendre l'établissement d'un drain central, qui débouchera entre les piquets 16 et 17, et sera placé à 2^m,50 en contre-bas de la plate-forme; on s'est assuré, par des sondages, que cette profondeur serait suffisante, circonstance heureuse, car il serait impossible de l'augmenter, à moins de chercher un débouché à une très-grande distance.

Le drain central sera formé de deux tuyaux de 0^m,175 de diamètre, et pourra débiter, en raison de la pente de 0^m,005 par mètre, environ 32 litres par seconde, soit 2,700^m cubes par jour; mais les eaux sont tellement abondantes, qu'on craint de faire un travail insuffisant et par conséquent inutile, si l'on ne compte pas sur un pareil débit; les quatre tranchées de drainage existant aujourd'hui dans cette partie du Dockenberg donnent déjà plusieurs centaines de mètres cubes d'eau par

jour, et cependant elles ne pénètrent pas en plein dans la couche aquifère.

Les tranchées de drainage faites jusqu'à présent au Dockenberg ont coûté de 5 à 10 fr. par mètre courant. La dépense faite jusqu'à ce jour s'élève à la somme de 26,000 fr.

La dépense totale atteindra 60,000 à 70,000 fr., en y comprenant le revêtement de 40,000^m carrés de talus : le chiffre de 70,000 fr. correspond à une dépense de 1 fr. 75 c. ou de 1 fr. 25 c. par mètre carré de surface assainie, suivant que l'on compte seulement la superficie des talus ou que l'on y ajoute celle de la plate-forme.

PRIX DE REVIENT

DE TRAVAUX D'ASSAINISSEMENT DE TRANCHÉES

DRAINÉES PAR LE PROCÉDÉ SAZILLY SUR LE CHEMIN DE FER DE MULHOUSE.

(Extrait d'un Mémoire de M. Masson, ingénieur)

PLANCHE A. 8.

.....

Pour établir les prix de revient des différents travaux d'assainissement exécutés dans notre section sur le chemin de Mulhouse, nous choisirons les tranchées les plus importantes de la traversée de la Haute-Marne entre Chalindrey et Laferté, lesquelles se trouvent ouvertes, partie dans les marnes du lias et partie dans les marnes irisées.

Les chiffres que nous prendrons ici pour base représentent à peine un tiers des travaux exécutés ; mais nous avons préféré rester dans ces limites, afin d'écarter toute erreur en n'opérant que sur des dépenses parfaitement distinctes et toutes spéciales à l'objet qui nous occupe.

Prix élémentaire des journées et matériaux employés aux travaux d'assainissement qui s'exécutent en régie dans diverses tranchées de la Haute-Marne.

Journée de 10 h. d'un terrassier de 1 ^{re} classe...	4 fr. 00
Idem 2 ^e classe ou	
manœuvre.....	3 25
Journée de 10 h. d'un maçon.....	4 20
Mètre cube de pierre cassée d'une grosseur variant de 0,06 à 0,12, fourni par l'entreprise et rendu....	7 05
Le même provenant des déblais et cassée en régie, fourni par l'entreprise et rendu.....	3 50

Mètre cube de mortier hydraulique	17	26
Tuiles creuses ordinaires du pays rendues sur les chantiers, le mille.....	40	00
Tuyaux de drainage de 0,05 de diamètre, provenant des fabriques de Langres à 30 kilom. de distance réduite.....	53	00
Manchons de 0,09 de diamètre id.	33	00

Prix d'un mètre courant de drainage avec tuiles creuses sur mortier hydraulique (Pl. A. 8. fig. 129).

1° AVEC PIERRE CASSÉE APPARTENANT A LA COMPAGNIE.

(NOTA. Tous les travaux d'assainissement exécutés jusqu'à ce jour se trouvent dans ce cas.)

DÉPENSE POUR 1400 MÈTRES DE CANIVEAUX.

	QUANTITÉS.	PRIX DE L'UNITÉ.	DÉPENSES.
	journ.	fr.	fr.
(1) Journées de terrassier de 1 ^{re} classe. <i>Talut</i>	104 6	4 00	418 30
Journée de terrassier de 2 ^e classe..	224 3	3 25	738 98
Id. maçons.....	89 1	4 20	374 22
Fourniture de tuiles creuses.....	4,104 1	40 c/o	164 16
Mortier hydraulique.....	15 40	17 26	265 80
Pierre provenant des déblais et cassage.....	218 04	3 50	763 14
TOTAL.....			2,704 70

(1) Les ouvriers qu'on applique aux drainages se forment très-rapidement à ce genre de travail. Il suffit de quelques explications claires sur l'objet de l'opération, et d'indications très-précises sur la marche générale à suivre, pour faire bientôt d'un terrassier intelligent un excellent assainisseur.

Chaque brigade se compose de deux terrassiers et d'un maçon, et exécute, par journée de 10 heures, une longueur moyenne en nombre rond de

Cette dépense qui s'applique à une longueur de 1,400^m de caniveaux et à une superficie de 6,564^m sup. de talus assainis, mais non revêtus, fait sortir le prix de revient des premiers à 1 fr. 93 le mètre courant et celui des seconds à 0,41 le mètre superficiel.

Le rapport qui existe ici entre le développement des caniveaux et la surface de talus assainis serait donc, quant à présent, de 1 à 4,70; mais il faut remarquer d'une part qu'aucune des tranchées sur lesquelles nous avons opéré n'étant encore

10 mètres courants de caniveaux, tout compris : fouillé, radier, recouvrement en pierraille, remblai, pilonnage et règlement.

Cette donnée résulte non-seulement du tableau des dépenses tel que nous le présentons, mais encore d'observations nombreuses faites en cours d'exécution. Il suit de là que le prix moyen des journées employées à ce travail étant de 3^f 64 et chaque journée d'homme représentant 3^m33 de caniveaux exécutés, on a pour la dépense en main-d'œuvre d'un mètre courant 1^f 09, laquelle se vérifie par les chiffres du tableau :

$$\frac{6,528 \text{ f. } 60}{1,400} = 1^{\text{f}} 09.$$

Mais comme il importe, pour créer le sous-détail du prix de revient, de distinguer la dépense en terrassements de celle en maçonneries, on y arrivera en observant :

Que le maçon étant servi par le terrassier de 2^e classe pour l'approche des matériaux à pied d'œuvre, il y a lieu de décomposer le temps du second en eu reportant une partie au compte des maçonneries. Or, comme il est reconnu qu'il consacre à ce service 5 heures quand le maçon en fait 10, on obtiendra ainsi le montant total de la dépense faite pour la construction des radiers et de leur revêtement en pierrailles :

44/5 de terrassier ou manœuvre à 3 ^f 25.....	144 ^f 63
89/1 de maçon à 4 ^f 20.....	374 22

TOTAL.....	518 ^f 85
------------	---------------------

Laquelle, répartie sur les 1,400 mètres de caniveaux exécutés, donne pour le prix de la main-d'œuvre de maçonnerie par mètre courant..... 0^f 37

Quant aux 0.72 (1.09—0.37) restant pour les terrassements, il sera de même facile de le décomposer, sachant d'ailleurs que dans les conditions ordinaires un terrassier peut ouvrir et régler une longueur de 20^m de rigoles d'une section moyenne de 0.44 quand il en remblayera 25, toute déduction faite de la place occupée par les matériaux en œuvre. On

à fond, et de l'autre, que les assainissements effectués s'appliquant aux parties les plus mauvaises, cette proportion changera nécessairement après l'entier achèvement des travaux, c'est-à-dire que la situation peut devenir alors sensiblement meilleure.

aura donc, en suivant cette proportion, 0.39 pour fouille et jet de 0^m44 de déblai. Ci..... 0^f 39
et pour remblai de 0^m27, toute déduction faite (0.72—0.39). 0^f 33

Nota. Les terres fouillées peuvent être déposées sur les bords de la rigole, puis reprises à longueur de bras pour le remblai en terre mêlée. L'excédant de cube se rejette dans la tranchée où les wagons la prennent. Quant à la terre végétale, on la trouve sur la crête même des tranchées où il est toujours prudent d'en faire un dépôt, tant en vue du revêtement des talus glaiseux que du rechargement des talus de remblai.

Nous pouvons donc maintenant dresser, au moyen des bases précédemment fixées, le sous-détail du prix d'un mètre courant de caniveaux en tuile creuse avec recouvrement en pierre à la compagnie.

Fouille et jet de 0^m44 de terre, compris règlement du fond de la rigole, à 0^f 89 le mètre cube..... 0^f 39

Fourniture de 3 tuiles à 40^f le mille..... 0 12

Id. de 0^m011 de mortier à 17^f 25. La quantité de mortier par mètre courant est donnée par le tableau ($\frac{15 \times 40}{1,400}$). 0 19

Extraction et cassage de 0.15 de pierre à 3^f 50..... 0 53

(Dans les cas ordinaires, le cube en œuvre ne dépasse pas 0.10 et reste souvent au-dessous; mais quand un caniveau doit assainir deux bancs, ce qui se présente très-fréquemment dans nos travaux, le cube de pierre augmente sensiblement à cause de la plus grande extension à donner au revêtement des parois mouillées.) (Pl. A. 8. fig. 130.)

Construction du radier et arrangement de la pierre, compris l'approche des matériaux..... 0 37

Reprises et remblais de toute nature, pilonnage et dressement du talus, 0^m27 de terre remaniée à 1^f 22..... 0 33

TOTAL pareil..... 1^f 93

Nous pensons qu'on peut sûrement prendre les éléments de ce sous-détail pour évaluer la dépense de consolidation d'un talus par la voie préventive.

2° AVEC PIERRE CASSÉE FOURNIE PAR L'ENTREPRISE.

Dans l'hypothèse de la fourniture des pierres cassées, le prix du mètre courant de caniveaux s'obtiendrait par la simple substitution de l'élément 7,05 à celui 3,50 porté au tableau général des dépenses. La dépense totale devenant alors 3,478 fr. 74, le prix du mètre courant serait de 2,48, et celui du mètre superficiel de 6,53 (1).

Si l'on compare le prix de 2^f,48 à celui de 2,92 qui a été atteint dans les travaux du même genre sur la ligne de Strasbourg, on trouve une différence de 0,44 en faveur du premier, bien que le cube et le prix de la pierre cassée soient chez nous beaucoup plus forts et que la section de déblai de nos rigoles soit presque double de celles de la tranchée de Gagny. Nous avons expliqué ailleurs les raisons qui nous avaient conseillé la substitution de la tuile à la brique et la suppression des gazons; or, on voit que si ces raisons étaient bonnes au point de vue de la construction, elles ne le sont pas moins au point de vue de l'économie.

La comparaison que nous venons de faire entre nos prix de revient et ceux de M. l'ingénieur de Sazilly nous dispenserait de nous arrêter sur ceux du mètre superficiel de talus assaini, si le chiffre auquel nous arrivons et qui dépasse le sien de 0,04 ne semblait pas constituer une anomalie. Quelques mots suffiront pour exprimer ce résultat. Dans la tranchée de Gagny, le rapport du développement des caniveaux à la surface des talus assainis est de 1 à 6, quand dans nos travaux de la ligne de Mulhouse ce rapport est, ainsi que nous l'avons dit, de 1 à 4,70. Il n'est donc pas surprenant que, tout en ayant un prix d'unité courante inférieur, nous arrivions à un prix d'unité de surface supérieur, puisque ce dernier est tout à fait subordonné à l'importance des travaux qu'on exécute dans un

(1) Le sous-détail sera le même que le précédent, en ayant égard à la différence du prix de la pierre cassée.

espace déterminé. Dans le cas où l'éventualité favorable que nous avons admise nous conduirait à la même proportion qu'à Gagny, notre prix par mètre superficiel de talus deviendrait $\left(\frac{2 \text{ fr. } 48}{6}\right) = 0 \text{ fr. } 41$, quand il est là de 0 fr. 49.

Prix d'un mètre courant de drainage avec tuiles creuses et corroi de glaise.

Dans certains cas nous avons, à défaut de mortier, posé les tuiles sur corroi de glaise; mais nous devons dire que ce moyen n'a jamais été pour nous une question d'économie, la difficulté d'avoir le mortier en temps voulu et l'urgence de l'exécution nous l'ayant seules dicté, notamment pour la tranchée de Montesson qui se trouve éloigné de tout chantier de maçonnerie et d'un accès très-difficile aux voitures.

Le choix de la glaise, sa préparation et son emploi pour former la couche des tuiles et le remplissage des joints, occasionnent un supplément de main-d'œuvre de pose, qui équivaut certainement à la valeur du mortier en place; aussi ne croyons-nous pas qu'il y ait lieu de dresser pour cela un prix spécial, estimant que, sans crainte d'erreur, on peut reprendre intégralement les prix que nous avons donnés plus haut pour les tuiles creuses avec emploi de mortier. Soit 1,93 sans fourniture de pierre cassée et 2,48 avec fourniture.

Prix d'un mètre courant de drainage avec tuyaux de 0,05 et manchons de 0,09. (Pl. A. 8. fig. 131.)

1° AVEC PIERRE CASSÉE APPARTENANT A LA COMPAGNIE.

Il résulte des attachements pris sur le travail normal d'une brigade composée de trois hommes (2 terrassiers et 1 maçon) qu'elle peut livrer par journée de 10 h. une longueur de rigol drainée de 13^m, compris fouille, approche et pose des tuyaux, recouvrement en pierre cassée, remblai, pilonnage et règlement.

Ce travail s'opérant avec un soin particulier sur des talus ordinairement inclinés à 45° est à peu près moitié de celui qui se ferait en plaine pour des drainages ordinaires.

Le prix de revient du mètre linéaire, tiré des carnets de dépense pour une longueur de 550^m, exécuté ainsi dans les tranchées de Chaudenay et de Hortes, est de 1 fr. 59 et peut être analysé comme il suit :

Feuille et jet de 0 ^m 3,35 de terre en rigole, compris toute su- jction de règlement du fond à 1 fr. 09.....	0 fr. 38
Fourniture de 3 drains de 0,05 de diamètre à 53 fr.	
le mille rendu	0 16
Fourniture de 3 manchons à 33 fr. id.	0 10
Extraction et cassage de 0 ^m ,127 de pierre à 3 fr.	
50 c.....	0 44
Main-d'œuvre de pose de drains et de leur recou- vrement.....	0 20
Reprise de terre, remblai, pilonnage et règlement du talus, 0 ^m ,30 courant à 1 fr. 03.....	0 31
Prix du mètre courant...	<u>1 fr. 59</u>

NOTA. La situation actuelle de ces travaux ne permet pas encore d'établir la relation des longueurs de drains avec les surfaces de talus assainis. Il en est de même du chemisage en terre végétale qui, commencé tout récemment sur plusieurs points, n'a pas encore fourni assez de notes pour être évalué d'une façon rigoureuse.

2° AVEC PIERRE CASSÉE FOURNIE PAR L'ENTREPRISE.

Il suffit dans le sous-détail qui précède de substituer le prix de la pierre 7 fr. 05 à celui de 3,50 qui y est appliqué, pour obtenir le prix de revient d'un mètre courant de drainage avec fourniture de tous matériaux par l'Entreprise.

Le sous-détail ainsi modifié devient, pour le cas dont il s'a-
git, 2 f. 05.

PRIX DE RÉPARATIONS D'ÉBOULEMENTS.

Nous ne prétendons pas, par cette désignation de *prix de réparation d'éboulements*, laisser croire qu'il soit possible de poser pour l'évaluation de ces sortes de travaux des bases fixes et certaines, car les éboulements en général ont lieu de façons si diverses et proviennent souvent de causes si différentes entre elles, qu'on ne saurait en assujettir la réparation à une règle commune.

Mais il est un cas d'éboulement dont nous dirons quelques mots, parce qu'il est assez ordinaire dans les tranchées déjà talutées, mais non assainies, et se reproduit même quelquefois dans des talus drainés, soit par suite d'un mauvais raccordement de rigoles, soit encore par suite de l'obstruction des chutes. Ce cas est celui où un talus glisse sur lui-même, entraînant un cube de terre plus ou moins considérable.

Il est rare que ces sortes d'éboulements, quand ils s'opèrent sur des points assainis, s'étendent tout d'abord beaucoup en arrière de la crête des talus ; mais pour peu que la réparation se fasse attendre, le mal s'aggrave et les travaux à exécuter peuvent devenir alors fort importants, si le mouvement surtout a commencé pendant un temps de pluie.

La réparation d'un éboulement quelconque de talus, aussitôt qu'il s'est produit ou que le mouvement semble arrêté, est donc à nos yeux une mesure indispensable, si l'on veut éviter de plus grandes avaries ; mais il peut arriver que la réparation en grand ne soit pas possible sur l'heure, soit par le manque de bras si le cube à remanier est considérable, soit à raison de l'état de liquéfaction dans lequel se trouvent les terres, soit enfin à cause de la mauvaise saison. Dans ce cas, on doit prendre immédiatement un parti, celui d'aller droit au mal en recherchant le banc de glissement et y construisant une pierreée définitive pour arrêter la continuation des suintements à travers les terres déjà détrempées.

Cette rigolo s'exécutant dans le terrain vierge immédiatement en arrière de la masse éboulée qu'elle isole en la contournant d'une extrémité à l'autre, doit être faite très-rapidement; la construction du radier doit suivre la fouille. Les pentes doivent en être fortement accusées et l'on ne doit pas craindre surtout d'augmenter les pierres du recouvrement dans une notable proportion, de façon à former une sorte d'enrochement solide au-dessus de la section d'écoulement.

L'établissement de ces pierrées permet aux terres ébouloées de s'assainir et font ordinairement disparaître toute inquiétude sur les suites de l'accident. Nous y avons pour notre compte recouru dans des circonstances graves où toute hésitation pouvait être dangereuse, et nous n'avons qu'eu lieu d'applaudir au résultat.

Nous allons maintenant faire connaître la dépense qu'a occasionnée la réparation de deux éboulements de nos tranchées, comme ayant lieu dans la condition dont nous avons parlé, c'est-à-dire par glissement de talus presque réglé, mais non encore assaini.

1^o TRANCHÉE DE BEAULIEU.

Cube de l'éboulement. (Terres enlevées et remplacées par un cube égal pilonné.)	227 ^{m3} 00
Longueur id.	29 00
Hauteur verticale	3
Surface restaurée (talus à 45°)	123 50
Épaisseur moyenne de la tranche éboulée.	1 84
M ^{tres} de caniveaux en tuiles creuses établis.	28 00
Id. drains de 0,05.	46 00
Cube de pierre pour recouvrement par mètre courant de drainage (pierre à la C ^{ie} , valeur 3 fr. 50).	0 20

La restauration du talus, exécutée d'après ces bases a coûté
946 fr. 50, soit par mètre superficiel 7 fr. 66
 Et par mètre courant de drainage 12 79

NOTA. Ces prix n'auraient assurément pas été atteints, si la réparation avait été faite par un temps favorable ; mais, en présence des menaces du coteau qui est fortement incliné et composé de très-mauvaises couches, on a dû la faire de suite, quand même et complètement, pour échapper à de plus sérieux accidents.

2° TRANCHÉE DE CHIFFARD.

Cube de l'éboulement.....	466 ^{m3} 15
Longueur.....	23 00
Hauteur verticale	5 40
Surface restaurée (talus à 1 pour 1 1/2).....	225 50
Épaisseur moyenne de la tranche éboulée.....	2 07
M/tes de caniveaux en tuiles établis.....	92 00
Cube de pierres à la Compie pour recouvrement par mètre courant.....	0 20
(1) Le talus, restauré dans ces conditions a coûté	1416 fr.
19 c., soit par mètre superficiel.....	6 fr. 28
Et par mètre courant de caniveaux.....	15 39

NOTA. Nous avons, par nécessité, appliqué à l'éboulement de Chiffard le mode d'assainissement immédiat en contournant la masse éboulée : la réparation complète n'a eu lieu qu'après l'assèchement des terres et par un temps favorable ; de là le prix plus faible auquel nous arrivons, bien que le remaniement fut là plus considérable, et la tranchée plus profonde qu'à Beaulieu.

Les deux exemples que nous avons choisis et qui représentent à peu près les cas que l'on est le plus susceptible de rencontrer dans l'exécution des tranchées, permettraient donc de faire une sorte de moyenne pour évaluer approximativement la dépense qu'occasionnerait la restauration de talus éboulés, non-seulement ici, mais sur d'autres lignes à cause de la pa-

(1) Si la pierre avait été fournie par l'entreprise, les prix de revient seraient à Beaulieu de 8^f 09 et 13^f 50, et à Chiffard, 6^f 58 et 16^f 10.

rité presque générale des salaires et du chiffre minime de la dépense en matériaux qui concourt à la dépense totale.

Cette moyenne serait par mètre superficiel de talus restauré, tous les matériaux étant fournis par l'entreprise, de. 7 fr.11

Et par mètre courant d'assainissement..... 14 94

Mais, quelque faibles que soient encore ces chiffres relativement à ceux obtenus ailleurs, ils n'en démontrent pas moins combien il est important de se préoccuper d'avance de la question des assainissements, puisqu'en opérant par la voie préventive, on n'échappe pas seulement aux difficultés quelquefois très-grandes de la répression, mais encore aux dépenses énormes que cette répression, quelle qu'elle soit, nécessite.

M. Sazilly a publié dans les Annales des ponts et chaussées, et l'un de nous a reproduit dans le Traité élémentaire une note sur la dépense à laquelle donnent lieu les procédés de consolidation de cet ingénieur. On pourra, en consultant cette note, établir des comparaisons utiles entre les données fournies par M. Masson, celles fournies par M. Sazilly, et de nouvelles données qui font suite au Mémoire de M. Bruère.

MÉMOIRE DE M. BRUERE,

CHEF DE SECTION AUX CHEMINS DE FER DE L'EST,

SUR LES ASSAINISSEMENTS ET CONSOLIDATIONS DES TALUS.

TRANCHÉES.

Les travaux d'assainissement et de consolidation ont pour but de préserver les talus des éboulements plus ou moins considérables qui se produisent généralement, dans les tranchées argileuses ou sablonneuses, par l'action des eaux intérieures, ou par les influences atmosphériques, ou bien, ce qui arrive le plus souvent, par ces différentes causes réunies.

But.

Ces travaux ont encore pour but de réparer les éboulements, soit en supprimant la cause qui les a produits, soit en opposant à la force qui entraîne les portions de talus une autre force suffisante pour arrêter leur mouvement dans les tranchées.

Les principales causes des éboulements des talus sont de trois sortes : elles dépendent des conditions d'équilibre des masses, ou de l'action des eaux intérieures, ou des effets des gelées, des pluies, de la sécheresse, en un mot des influences atmosphériques.

Causes
des éboulements.

Des circonstances favorables m'ayant mis à même d'étudier les deux dernières causes d'éboulements, je vais tâcher d'exposer, d'une manière aussi complète que possible, les observations que j'ai pu faire à ce sujet, pour expliquer ensuite plus facilement les différents procédés d'assainissement et de consolidation dont je conseille l'usage dans presque tous les cas.

Quant à la première cause d'éboulements, je me reconnais malheureusement incapable de l'expliquer, ne possédant pas les connaissances nécessaires à la solution de cette intéressante question. Je ne puis donc la citer que pour mémoire.

Eaux intérieures.

Les eaux intérieures proviennent des bancs de suintement, des eaux de filtration à travers les racines, ou de celles produites par les dégels.

Bancs
de suintement.

Dans les terrains argileux ou sablonneux, les bancs de suintement se trouvent : à l'intersection de la couche perméable qui forme presque toujours la partie supérieure des talus avec la première couche argileuse ; ils se trouvent aussi très-souvent entre les différentes couches argileuses quand un terrain perméable est interposé entre deux de ces couches ; quelquefois même, mais rarement, il existe des suintements entre des couches argileuses de même nature sans qu'une nuance quelconque en indique d'abord la position.

En résumé, les bancs de suintement se trouvent sur les bancs argileux quand ils sont placés au-dessous d'un terrain perméable ; il n'est pas nécessaire que ce terrain perméable contienne beaucoup de sable. On peut remarquer à la tranchée de la Vinoterie (ligne de Mulhouse) des eaux intérieures sortir abondamment de couches tout à fait argileuses, mais peu denses, on pourrait même dire très-spongieuses.

Ceux que l'on remarque entre deux couches argileuses homogènes peuvent être expliqués par une disposition du terrain représenté figure 1, pl. A 6.

Dans les terrains sablonneux, les suintements sont généralement très-abondants et s'étendent le plus souvent sur une assez grande étendue ; ils constituent alors ce qu'on appelle les suintements généraux.

Recherche
des bancs de suin-
tement.

Avant de commencer les travaux d'assainissements d'une tranchée, il est très-important de connaître d'avance tous les bancs de suintement.

Les recherches auxquelles on doit se livrer pour cet objet sont bien moins difficiles qu'on le suppose généralement; il suffit pour cela : de faire des remarques à l'ouverture des cunettes; car c'est alors que les eaux intérieures de filtration sont le plus abondantes, et comme la quantité d'eau est alors trop grande pour que l'air l'absorbe tout entière à sa sortie, il est facile de noter tous les endroits où l'on voit l'eau apparaître. En agissant de cette manière, on sera certain de savoir plus tard, après le règlement des talus, où se trouvent les bancs de suintement lorsqu'il s'agira de recueillir les eaux intérieures de filtration. Il n'est pas nécessaire de suivre alors les suintements dans tout leur développement lorsqu'on fait des recherches; quand on a reconnu un endroit d'où l'eau sort, on doit être à peu près certain que toute la couche de terrain de même nature, de même nuance et qui a la même disposition, est elle-même un banc de suintement.

Quand on n'a pas pu étudier la position des bancs de suintement à l'ouverture des cunettes ou généralement pendant le déblai des tranchées, on doit observer les talus le matin au lever du soleil; l'air calme et froid de la nuit a absorbé peu d'eau et les bancs de suintement sont alors très-faciles à reconnaître. Dans les cas douteux, on fait bien de répandre du sable ou mieux de la cendre sur les talus; la nuance plus foncée que prennent ces deux matières au contact de l'humidité décèle toujours un banc de suintement.

Ici se présente l'occasion de faire une remarque très-importante : il arrive quelquefois à ceux qui n'ont pas l'habitude de faire des recherches de suintements de se méprendre sur l'endroit exact d'où les eaux souterraines sortent à la surface des talus; ces eaux, avant d'en atteindre tout à fait la surface extérieure, peuvent descendre dans les fentes nombreuses que la sécheresse a produites dans la couche inférieure argileuse, de sorte que l'eau se montre beaucoup plus bas que le banc de suintement par où elle se dirige (fig. 2).

Pour éviter aux autres cette cause d'erreur, je conseillerai

ce que je fais toujours moi-même : il faut enlever sur la surface du talus où on soupçonne un suintement toutes les terres désagrégées par l'humidité et par la sécheresse. On sera certain de savoir ensuite exactement quelle est la couche de terrain qui donne passage à l'eau.

Quand les eaux paraissent à la surface du talus en assez grande quantité, on reconnaît aisément quel est le terrain qui leur donne passage lorsqu'on observe ces talus pendant le jour quand le soleil donne le plus de chaleur. Il arrive alors que la surface du talus devient tout à fait sèche à l'exception des endroits où l'eau sort naturellement. Il est un fait assez curieux que j'ai eu très-souvent l'occasion de remarquer : des surfaces de talus argileux réglés depuis longtemps n'offraient à la température ordinaire aucun symptôme d'humidité. Or, il arrivait que, par les grandes chaleurs, lorsque le soleil échauffait le plus fortement la terre, il se dessinait des zones distinctes où se manifestait une humidité assez abondante. Ces traces d'humidité indiquent toujours la présence d'eaux intérieures.

Les suintements sont encore très-faciles à reconnaître dans les petites tranchées de 0^m,80 environ de largeur ouvertes perpendiculairement à l'axe pour le règlement des talus ; l'air y circulant difficilement ne peut absorber que peu de l'humidité produite par les eaux intérieures.

J'ai parlé d'une espèce de banc de suintement entre deux couches argileuses homogènes ; ils ont généralement une faible épaisseur de 1 à 2 centimètres ; ils se reconnaissent à la main. Quand une fois on a trouvé un point de leur direction, on peut facilement glisser le doigt sur toute leur longueur entre les deux couches argileuses qui sont généralement très-compactes ; on en retire une matière bourbeuse, très-molle, qui a souvent beaucoup d'analogie avec les terrains des couches supérieures. Des suintements de cette espèce se voient aujourd'hui à la tranchée de Briel (ligne de Mulhouse) ; j'en ai vu un assez grand nombre aux tranchées de Soultz et

de Sourbourg (ligne de Wissembourg); mais les plus remarquables que j'aie vus jusqu'à ce jour existent à la tranchée du versant méridional de l'Indre, près de Tours (chemin de Tours à Bordeaux). Lorsque j'ai été chargé de la consolidation des talus de cette tranchée, ces suintements avaient déjà produit des éboulements considérables.

A l'époque des dégels, les eaux provenant de la fonte des neiges et des pluies ne peuvent pénétrer sur la première couche de terrain imperméable que lorsque le sol est complètement dégelé, de sorte que ces eaux trouvent naturellement une issue dans les tranchées, paraissent à la surface des talus souvent bien au-dessus du premier banc de suintement ordinaire; elles se montrent le plus abondamment de 0^m40 à 0^m50 au-dessous de la partie supérieure B du sol (fig. 3).

Eaux provenant
de la
fonte de neiges.

Quand une tranchée est ouverte dans l'emplacement d'une forêt, les racines des arbres abattus de chaque côté de la tranchée produisent à leurs extrémités une grande quantité d'eau qui sans elles se seraient éconlées à la surface du sol. Cette remarque est d'autant plus importante que la quantité d'eau qu'elles introduisent dans les terres est très-considérable à l'époque des dégels et des fortes pluies. C'est à la présence de ces racines qu'il faudra attribuer l'abondance des eaux dans la partie supérieure des talus de la tranchée de Briel (ligne de Mulhouse). La plus grande partie des éboulements qui se sont produits à la tranchée de Strohubel (ligne de Wissembourg) n'ont pas eu d'autre cause que la présence des racines.

Eaux de filtration
à travers
les racines.

Tout le monde sait que l'argile éprouve un changement dans son volume suivant la quantité d'eau qu'elle contient. La sécheresse produit un retrait qui a pour effet de donner des crevasses plus ou moins profondes; l'humidité qui survient après la sécheresse fait éprouver au contraire à l'argile un gonflement qui achève d'en détruire la force de cohésion.

Note
de production
des éboulements.

La gelée produit le même effet à elle seule : les eaux que l'argile contient éprouvent une augmentation de volume par

leur congélation; cette augmentation a lieu nécessairement pour la masse de terre gelée; le mouvement contraire s'effectue au dégel. Soumise à ces deux mouvements de dilatation et de contraction, la glaise perd alors presque entièrement la force de cohésion qui unit ses différentes parties sur toute l'épaisseur de la couche gelée.

Une fois désagrégées sur une certaine épaisseur, les terres dont il s'agit en absorbant une grande quantité d'eau qui les rend très-fluantes, onctueuses, ne tardent pas à être entraînées au fond de la tranchée par l'action des eaux de pluie ou par le seul effet de la pesanteur, la résistance due au frottement étant devenue presque nulle.

La portion de terrain qui se comporte comme je viens de le dire a presque toujours une épaisseur uniforme qui peut aller jusqu'à 0^m,50. Elle constitue ce qu'on appelle les éboulements de surface.

Lorsque les éboulis ne sont pas promptement enlevés, il en résulte ensuite des accidents plus graves. Les parties argileuses ébouleées en changeant de position peuvent se trouver placées sur un banc de suintement; à cause de leur imperméabilité elles s'opposent au passage des eaux de filtration qui, refoulées à l'intérieur, produisent par leur quantité excessive un changement qui favorise l'éboulement de masses plus considérables.

Soumises à la pression de l'eau concentrée sur les couches imperméables, la partie supérieure des bancs de glaise se délaye et donne une couche souvent très-savonneuse quoique très-mince sur laquelle glissent les terres qui se trouvent au-dessus (fig. 4).

Il me paraît essentiel de dire que le même effet se produit souvent à l'air libre sans le concours des gelées. La raison en est que le passage des eaux peut être obstrué encore d'une autre manière. Je prendrai pour exemple les éboulements

qui se sont produits à la tranchée de Briel. Ces éboulements avaient à leur origine la forme indiquée à la figure 5.

Les eaux du suintement AB pénètrent jusque sur le glacis CD un peu avant leur sortie ou en descendant sur la surface du talus, de telle façon que le prisme ACE une fois détaché est bientôt imbibé d'eau; il se réduit en boue, et dans cet état il s'oppose aussi au passage des eaux qui sont alors refoulées sur les glacis CD. Plus tard, il survient des éboulements plus considérables. On peut encore voir aujourd'hui à la tranchée de Briel des éboulements pareils à celui représenté figure 6.

La conservation des talus sera assurée quand on aura pris les dispositions nécessaires pour les préserver des eaux intérieures et des influences atmosphériques.

Moyens
à employer
pour
la consolidation
des talus.

Pour prévenir les effets des eaux intérieures, il suffit de les recueillir de manière qu'elles ne soient jamais soumises à l'action des gelées, et qu'elles ne s'écoulent que le moins possible à la surface des terres argileuses.

Les caniveaux d'assainissement remplissent complètement ce but; le principe sur lequel on s'appuie pour leur construction est excessivement simple : les caniveaux consistent dans une certaine quantité de matières perméables A (fig. 7) appliquées contre les couches perméables naturelles B qui donnent passage aux eaux de filtration; et au-dessous une rigole en maçonnerie de briques C pour recueillir les eaux et les diriger dans les contre-fossés du chemin de fer.

Caniveaux.

Afin de préserver la surface des talus des effets de la sécheresse et des pluies, et particulièrement des gelées, il faut les recouvrir d'une couche de terres pilonnées de manière qu'elles ne soient soumises qu'au moindre tassement possible. Les terres servant aux recouvrements doivent être choisies parmi celles qui ne sont point sujettes à devenir fluentes au contact de l'eau; elles doivent être pilonnées partout avec le même soin, avec la même force, de sorte que ces recouvrements

Revêtements.

deviennent aussi compactes que possible au point de devenir imperméables eux-mêmes.

Banquettes.

Les eaux de pluie en descendant sur des talus d'une hauteur un peu considérable ravineraient ces talus vers leur base et seraient la cause de dégradations plus ou moins importantes, si on ne prenait pas la précaution de diminuer le volume et la vitesse des eaux pluviales. C'est pour cela qu'il est nécessaire d'établir de distance en distance des banquettes étagées destinées à recevoir les eaux qui descendent à la surface des talus.

Pour le prompt écoulement des eaux de pluie sur les banquettes, il devient indispensable de les disposer de manière qu'elles aient une pente transversale qui soit autant que possible opposée à celle des talus, et une pente longitudinale suffisante pour que les eaux soient concentrées dans un assez petit espace et qu'elles puissent s'écouler promptement vers les points les plus bas donnés par les pentes longitudinales.

Cuvettes.

À la jonction inférieure de deux pentes opposées, on est alors obligé de construire des cuvettes en maçonnerie par lesquelles les eaux reçues par les banquettes s'écoulent directement dans les contre-fossés du chemin de fer.

Perrés.

Pour que les eaux qui s'écoulent dans les fossés des tranchées argileuses ou sablonneuses ne dégradent pas la base des talus, il est nécessaire de perreyer ces fossés. Dans les tranchées argileuses, il suffit de perreyer le fond du fossé et le talus opposé à la voie; l'autre talus peut être simplement gazonné à plat.

**Caniveaux
à la base des
revêtements.**

Malgré tout le soin avec lequel on aura fait choix des terres destinées aux revêtements du talus, et quoique ces revêtements soient très-bien pilonnés, on ne parviendra jamais à le rendre complètement imperméable; les eaux qu'il contiendra aux dégels, celles provenant des fortes pluies pénétreront donc les recouvrements sur toute leur épaisseur, en faible quantité il est vrai, mais assez cependant pour que celles qui

parviendront au pied du talus ramollissent les terres rapportées et fassent perdre aux revêtements toute leur solidité. C'est pour cette raison que depuis quelques années j'ai l'habitude d'établir au pied des talus un caniveau destiné à recueillir les eaux qui s'écoulent entre le terrain naturel et les terres du revêtement (fig. 8).

EXÉCUTION DU TRAVAIL.

Après avoir exposé les différentes manières dont se forment les éboulements de talus, les causes qui produisent les éboulements et les moyens de les en préserver, il me sera plus facile d'expliquer les procédés d'assainissement et de consolidation des talus.

Pour simplifier autant que possible mes explications, je parlerai d'abord des travaux à exécuter pour la consolidation d'un talus où il n'y a pas eu d'éboulements; je m'occuperai ensuite des différents cas qui se présentent lorsqu'il s'agit d'un talus éboulé.

1° TALUS ARGILEUX NON ÉBOULÉS.

Un caniveau d'assainissement se compose : 1° d'une rigole en briques maçonnées et disposées comme l'indique la figure 9; 2° d'une couche de cailloux roulés ou de pierres cassées; 3° d'un recouvrement en gazon.

Caniveaux.

Les briques doivent être maçonnées avec du mortier de chaux hydraulique. On doit autant que possible en réduire les dimensions de manière qu'elles nécessitent un déblai plus faible pour la fouille de la rigole et qu'il en résulte pour la partie AB la plus petite hauteur possible.

Briques.

Il est évident (fig. 10 et 11) que plus les briques seront larges et épaisses, plus la rigole aura de largeur, et par conséquent plus la partie AB sera considérable.

Les briques dont je me sers ordinairement ont 0^m,25 de longueur, 0^m,08 de largeur et 0^m,02 d'épaisseur.

M. Barroux, ingénieur à Troyes, a commandé des briques creuses circulaires ayant les dimensions de la figure 12. Elles sont très-avantageuses pour la main-d'œuvre quand l'on a à construire des caniveaux d'une certaine longueur, et quand les suintements décrivent des courbes d'un rayon assez considérable. Dans le cas contraire, l'usage des petites briques est préférable en ce qu'elles permettent de suivre plus exactement la direction des bancs de suintement, de décrire des courbes d'un petit rayon, et parfois d'économiser le mortier quand les fouilles sont irrégulières.

Le jointoiement des briques se fait en passant tout simplement un coulis de mortier dans la rigole.

Mortier.

Il arrive quelquefois que l'on remplace le mortier hydraulique par du ciment romain de Vassy. On ne doit faire usage du ciment que quand les eaux sont très-abondantes; dans tout autre cas on s'expose à des dépenses inutiles.

Cailloux.

Les cailloux doivent être placés de manière que les plus gros soient au fond de la rigole (fig. 9) et que les plus petits soient placés contre le banc de suintement.

Les pierres cassées, quand on en fait usage, doivent pouvoir passer par un anneau de 0^m,05 à 0^m,06 de diamètre.

Au lieu de cailloux ou de pierres cassées, on pourrait employer toute autre matière pouvant se réduire à peu près aux mêmes dimensions et non sujettes à se dissoudre dans l'eau. Le voisinage des hauts fourneaux de La Villeneuve et de Vendevre permet ici de se servir de scories dont le prix de revient ne se compose presque que de celui du transport à pied-d'œuvre.

Toute autre matière qui remplirait les conditions énoncées précédemment pourrait donc être substituée à celles dont je viens de parler; cependant on ne doit pas perdre de vue qu'à prix égaux l'emploi des cailloux est toujours préférable, parce

qu'ils laissent moins de vides dans la partie adjacente au banc de suintement.

Pour que les cailloux ne soient pas mélangés avec les terres du recouvrement pendant le pilonage ou par celles que les eaux de pluie entraînent avec elles dans le cas où les talus ne seraient pas assez promptement recouverts, les cailloux ou la matière qui le remplace sont revêtus d'un gazon à plat disposé comme l'indique la figure 9.

Gazon.

Plaques de glaise.

Il arrive quelquefois que le gazon est rare ou qu'il revient à un prix assez élevé quand on ne le trouve pas dans la zone d'acquisition ou que la distance du transport est considérable. Dans ce cas, on fait bien de le remplacer par des plaques de glaise quand on peut s'en procurer d'assez fraîches, sans pourtant qu'elles soient trop molles pour qu'on puisse les couper en plaques larges et minces au moyen d'une pelle ordinaire. Le recouvrement des caniveaux ne se fait pas autrement aux tranchées de La Villeneuve et de Vendevre (fig. 13).

Fouille.

La fouille, comme elle est représentée à la figure 14, est disposée de manière que l'on n'ait que peu de déblai à faire et que la solidité du talus ne soit guère diminuée par une hauteur de la partie AB trop considérable. On doit cependant laisser à la banquette CD une assez grande largeur pour que le prisme ECDF puisse maintenir la rigole et pour faciliter le passage des ouvriers.

La partie AB doit être néanmoins assez haute pour que le banc de suintement puisse être entièrement enveloppé par les matières perméables qui le recouvrent (fig. 15).

Les caniveaux doivent suivre exactement toute la configuration des bancs de suintement; pour cela on doit s'attacher à placer le bord supérieur de la brique qui se trouve immédiatement au-dessous du banc de suintement à 0^m,05 environ

au-dessous de la partie inférieure de la couche de terrain aquifère (fig. 9).

Il peut arriver que plusieurs couches de terrain aquifère se trouvent à moins de 0^m,40 de distance verticale les uns des autres. Au lieu de construire une rigole pour chacune d'elles, il est préférable au point de vue de l'économie et de la solidité de n'en construire qu'une seule qui recevrait les eaux de tous les suintements (fig. 16). Mais quand les bancs de suintement sont distants de plus de 0^m,50 de hauteur verticale, il est bien plus avantageux d'établir un caniveau à chaque suintement.

Du reste, ce que je viens de dire doit, ce me semble, se présenter naturellement à l'esprit de tout constructeur qui cherche en même temps la solidité et l'économie. Il est possible que par la suite je trouve d'autres combinaisons à l'aide desquelles les travaux d'assainissement dont je serai chargé se feront à un prix un peu moins élevé. Tantôt je remplace le gazon par des plaques de glaise, tantôt je substitue à la pierre cassée les scories des forges, auparavant j'ai modifié la disposition des caniveaux quant à la fouille. Ce sont là toutes choses qui, sans avoir une grande importance particulière, finissent cependant par produire des économies considérables. En un mot, loin de me refuser obstinément à toute innovation, je m'empresse toujours de profiter des circonstances favorables pour modifier le travail, toutes les fois cependant que ces modifications ont pour but la solidité et l'économie.

Il est incontestable que la forme que je reproduis ici, figure 17, est incomparablement plus avantageuse que celle qu'a donnée M. de Sazilly (fig. 18). Il suffit de jeter un coup d'œil sur la figure 19 représentant les deux profils superposés, pour reconnaître que la forme de mes caniveaux ôte moins de solidité aux talus, qu'elle nécessite un déblai moins considérable et beaucoup plus facile, et que la quantité de pierres cassées est au moins d'un tiers plus forte à la figure 18 qu'à la figure 17.

2^o TALUS SABLONNEUX NON ÉBOULÉS.

La construction de la rigole en briques est exactement la même que précédemment; seulement les briques doivent être plus larges, parce que les eaux sont généralement plus abondantes, et qu'il est à craindre que le sable, entraîné par l'eau, vienne obstruer les caniveaux.

Caniveaux.

Quand les bancs de suintement n'ont pas trop de hauteur et que le sable n'est pas mouvant, on peut donner au caniveau la forme de la figure 9. On doit, dans le cas dont il s'agit, s'attacher à ce que la rigole soit construite sur un terrain solide et imperméable. Ce terrain peut être sablonneux lui-même, quoique solide et imperméable; cette particularité de sable auquel on donne le nom de Bintz, forme une certaine partie du terrain que l'on rencontre à la tranchée de la Schautz (ligno de Wissembourg).

Suintement ordinaire.

Les dispositions décrites ci-dessus doivent être modifiées quand il s'agit d'assainir un terrain sablonneux où il y a beaucoup d'eau, par conséquent où le sable est très-mouvant, et quand la hauteur du suintement est plus considérable; c'est le cas de ce qu'on appelle un suintement général.

Suintement général.

On doit ici, comme je l'ai déjà dit, établir le caniveau sur un terrain solide. Comme le gravier que l'on poserait sur le sable ne tarderait pas à devenir inutile par son introduction dans une masse trop mouvante, il est nécessaire de l'envelopper dans des branches fines et serrées à l'entour. Les fascines liées très-solidement sont ensuite placées sur le talus, comme je le dirai tout à l'heure.

Fascines.

Les branches de genêt et de bouleau sont d'un bon usage pour la fabrication des fascines de gravier (fig. 20 et 21).

L'établissement d'un filtre en fascines est, sans contredit, le travail le plus délicat et le plus difficile qui se puisse rencontrer dans l'assainissement des talus.

Aussitôt après le règlement des talus, après avoir préparé tous les matériaux nécessaires, on place les fascines en commençant par le haut, de manière qu'on ne soit jamais incommodé par le sable qui est toujours entraîné par les eaux.

On commence donc par pratiquer un redan A, et l'on pose immédiatement comme il est indiqué au croquis figure 22 la fascine A'. Ensuite un ouvrier ouvre un deuxième redan B où la fascine B' est aussitôt placée. Le travail étant continué ainsi jusqu'au bas du suintement, les fascines sont ensuite recouvertes de 0^m,10 de gravier, et le talus représente en profil la forme indiquée à la figure 22.

Recouvrement
en gazon.

Il ne reste plus qu'à faire sur le tout un gazonnement à plat de 0^m,10 d'épaisseur, et pourvu que les fascines soient bien serrées les unes contre les autres, qu'elles soient placées à joints recouverts, il n'est plus à craindre qu'il survienne des éboulements. On sera peut-être obligé de temps en temps de nettoyer le caniveau obstrué par le sable qui sera entraîné par les eaux pendant les premiers jours; mais ce sera un travail facile, si on a pris la précaution de ne remplir le caniveau avec le caillou et de ne recouvrir le talus que plusieurs jours après l'établissement du filtre en fascine.

Recouvrement
en terre végétale

Un recouvrement en terre végétale, fait comme il sera dit plus tard, serait très-convenable; mais le plus souvent un simple répandage de 0^m,15 de terre végétale est bien suffisant.

Je ne crois pas qu'il soit nécessaire de faire remarquer que, quand je dis que le redan B doit être fait lorsque la fascine A' est placée, on doit entendre que ce redan B ne doit être pratiqué pour faire place à la fascine B' que quand une rangée horizontale de fascines comprenant celle A' est appliquée sur toute la longueur du suintement. En d'autres termes, les fascines recouvrant un talus sont placées par rangées horizontales et à joints recouverts.

J'ai principalement fait l'application de ce qui précède à la

tranchée de la Schautz (ligne de Wissembourg) dans la partie voisine de la ville de Haguenau. Les talus de cette tranchée ont été assainis de cette manière sur une surface de 2,000 mètres carrés environ.

Il arrive quelquefois que des suintements de cette nature ont une étendue moins considérable, et qu'il n'en faut cependant pas moins de précautions pour les consolider.

A la tranchée de Sourbourg (ligne de Wissembourg), la partie supérieure de la première couche argileuse présentait dans quelques endroits une dépression considérable. Une grande quantité d'eau suintait du talus après avoir traversé un banc de sable pur de 0^m,80 de hauteur environ. Malgré toute la promptitude avec laquelle on avait réglé le talus pour le consolider immédiatement, on n'a cependant pas pu empêcher la production de petits éboulements. L'eau entraînait le sable avec une telle abondance, qu'il a été nécessaire de faire usage de fascines pour l'assainissement du talus. La figure 23 peut donner une idée assez exacte du travail qui vient d'être expliqué.

Les recouvrements de talus peuvent être faits en maçonnerie de pierre sèche, en gazon ou en terre végétale. Les derniers sont bien préférables aux autres; ils sont plus économiques, et quand ils sont bien faits, ils garantissent mieux les talus contre les effets des pluies et du dégel.

REVÊTEMENTS.

Les revêtements en maçonnerie sont généralement faits en pierre sèche sur une épaisseur de 0^m,25 à 0^m,30. Ils ne garantissent qu'imparfaitement les talus argileux des effets des eaux de pluies. M. de Sazilly conseille d'introduire de la terre végétale dans les joints pour remplir tous les vides qui existent entre les moellons; il est facile de concevoir qu'on ne pourra jamais remplir tous les vides par le moyen qu'il propose; d'un autre côté, la terre introduite sous forme de conlis n'étant pas assez fortement comprimée, il arrive que les eaux de pluie l'entraînent très-promptement. Les revêtements de

En maçonnerie.

cette espèce ont, en outre, l'inconvénient de coûter fort cher.

En gazon. Il y a deux manières de faire les revêtements en gazon : le gazonnement peut se faire à plat ou par assises.

A plat. Le gazonnement à plat ne doit être employé que pour s'opposer aux dégradations superficielles que peuvent causer les eaux de pluie; il s'oppose très-peu à l'action des gelées. Il est prudent de ne s'en servir que pour recouvrir de très-petites surfaces sablonneuses. Les gazons bien serrés les uns contre les autres sont d'ailleurs fixés au moyen de chevilles de 0^m,30 de longueur plantées normalement à l'inclinaison des talus.

Par assises. Le gazonnement par assises est préférable au gazonnement à plat; mais il coûte beaucoup plus cher. Les revêtements en gazon ont une apparence de solidité qu'ils ne possèdent pas toujours; les gazons n'ont, en général, que trop peu de liaison entre eux et n'ont pas avec le terrain naturel. En plaçant le gazon avec une inclinaison opposée à celle du talus (fig. 24), on facilite évidemment l'introduction des eaux entre le revêtement et le terrain naturel; il n'en serait pas tout à fait de même si le gazon était placé comme l'indique la figure 25; mais alors le revêtement a beaucoup moins de solidité.

En terre végétale. Les revêtements en terre végétale sont bien préférables à ceux dont je viens de parler pour le recouvrement des talus de tranchées. Ils sont plus économiques et garantissent mieux les talus contre les effets des pluies et des dégels.

Les terres que l'on veut faire servir au recouvrement des talus doivent remplir plusieurs conditions dont voici les principales : elles doivent devenir presque imperméables après qu'elles ont été resserrées par le pilonnage; elles ne doivent pas être sujettes à devenir fluentes quand elles sont mises en contact avec l'eau.

L'argile et le sable ont tous deux les propriétés contraires à celles que je viens de dire; mais les terres où ces deux éléments se trouvent en proportions convenables pour remplir le

but que l'on se propose se trouvent toujours assez facilement. Quand il s'agit de recouvrir les talus argileux, on se sert ordinairement du terrain qui se trouve au-dessus de la première couche de glaise.

Il peut arriver que l'on ne trouve pas à la partie supérieure des tranchées une quantité de terres suffisante pour faire le recouvrement; mais il est souvent possible d'en augmenter le volume en y ajoutant une certaine quantité de terre argileuse, quand cette argile est friable, susceptible de se diviser facilement en très-petites parties lorsqu'elle est exposée au contact de l'air. Les terres ainsi mélangées peuvent être employées sans crainte, surtout lorsqu'il s'agit de donner une forte épaisseur aux pilonnages. Les recouvrements que j'ai faits de cette manière aux tranchées du Hundsoff et du Strohubel (ligne de Wissembourg) se maintiennent parfaitement bien.

Les marnes argileuses mélangées avec la terre végétale peuvent aussi donner des terres très-convenables pour le pilonnage.

Il est à remarquer que l'opération du pilonnage fait en partie acquérir aux terres les qualités dont elles ont besoin pour servir au recouvrement des talus. Cela se remarque surtout dans la variété de sable argileux auquel les ingénieurs du chemin de fer de Wissembourg donnaient le nom particulier de Lhemm. Aux tranchées de Hersmerweiller et de Hoffen (ligne de Wissembourg), la partie supérieure des talus, sur une hauteur de 5 à 6 mètres, est composée du terrain dont il s'agit. Il existait dans ces talus des crevasses nombreuses, les unes produites par la chaleur, les autres produites par une cause qui m'est inconnue. Ces dernières étaient les plus considérables; elles avaient souvent une largeur de 0^m,01 et descendaient quelquefois diagonalement de la crête des talus jusqu'au fond des tranchées. J'ai jugé prudent de recouvrir les talus avec ces mêmes terres pilonnées, quoique au moment où je faisais exécuter les travaux de consolidation de ces tranchées, le terrain présentât une grande apparence

de solidité. A la fin de l'hiver dernier, on a pu remarquer aux tranchées de Hoffen et de Hersmerweiller que partout où le revêtement a été fait comme je viens de le dire, les talus ont résisté aux effets d'un dégel accompagné de pluies extraordinaires par leur abondance et leur durée, pendant qu'aux endroits où cette précaution n'avait pas été prise par raison d'économie, il y a eu des dégradations superficielles qui, quoique peu importantes, ont cependant occasionné une dépense plus grande que celle qu'eût exigée le recouvrement complet par le moyen dont je viens de parler.

De semblables revêtements ne reviennent pas à plus de 0 fr. 30 cent. le mètre carré, attendu qu'il suffit de piocher et de piloner ces terres en montant le recouvrement (fig. 26).

De pareils éboulements se sont produits de la même manière dans plusieurs tranchées du chemin bavaïse de Wissembourg à Ludwigshafen, malgré l'inclinaison de 1,50 de base pour 1 de hauteur que l'on avait donnée aux talus de ces tranchées.

Les éboulements de surface qui ont eu lieu à la tranchée d'Altenstadt, quoique les talus en aient été pilonés, ont eu pour cause la trop forte inclinaison qu'on a voulu laisser aux talus (45°) pour raison d'économie de déblai.

Les deux espèces de terres qui sont les plus propres aux revêtements des talus sont : la terre végétale et le sable argileux.

A la tranchée de Briel (ligne de Mulhouse) j'ai fait servir au recouvrement du talus consolidé à l'endroit où il s'était produit un éboulement, le sable argileux qui se trouve au-dessus de la première couche de glaise ; il se pilonne parfaitement bien et acquiert toute la solidité désirable.

L'épaisseur des revêtements doit être de 0^m,30 au moins ; cette épaisseur est généralement suffisante.

Les terres doivent être pilonnées par couches de 0^m,15 à

0^m,20 d'épaisseur, inclinées dans le sens opposé à celui du talus, comme l'indique la figure 27. Dans le sens de leur longueur, les couches doivent être bien horizontales.

L'opération du pilonage se fait au moyen de dames plates en bois de chêne ou mieux en charme. Leur forme et leurs dimensions sont indiquées aux figures 28 et 29. Celles qui servent au règlement de la surface DB (fig. 27) ont une autre forme (fig. 30 et 31); elles servent aussi à resserrer d'avantage les terres pilonnées dans les angles A (fig. 27) formés par les couches et le terrain naturel, afin que la liaison entre les deux terrains soit aussi complète que possible.

Pour donner aux revêtements en terre végétale plus de solidité, on doit disposer le terrain naturel à la base AB (fig. 32) avec une pente de 0^m à 0^m,20 opposée à celle du talus.

M. Sazilly conseille de pratiquer dans les talus à recouvrir des redans d'une longueur et d'une largeur déterminées (fig. 33). J'ai fait assez longtemps usage de ces redans, mais depuis, j'ai été forcé de reconnaître leur inutilité, et de plus j'ai remarqué que, dans certains cas, ils peuvent être eux-mêmes une cause d'éboulements. D'abord, ils n'ont plus aucune solidité s'ils sont faits plusieurs jours avant d'être recouverts; le terrain se gerce et les eaux qui filtrent toujours un peu sous le recouvrement sont nécessairement absorbées par ces crevasses, et cela d'autant plus facilement que les terres du revêtement elles-mêmes n'ayant pas pu être suffisamment pilonnées dans l'angle du redan, se changent en boue par l'introduction des eaux du dégel et des pluies.

Le but et les dispositions générales des banquettes ayant déjà été expliqués, il ne me reste plus qu'à en indiquer les dispositions particulières.

Banquettes

La largeur des banquettes doit être, en général, de 1^m,00. Quelquefois on peut être obligé de leur donner une largeur plus considérable qui peut aller jusqu'à 2^m,00. Je parlerai

Largeur.

plus tard du cas particulier où les banquettes de cette largeur peuvent être nécessaires.

Pentes. La pente transversale des banquettes est inclinée dans le sens du talus (fig. 34), ou bien elle est inclinée dans le sens contraire (fig. 35).

Les banquettes construites comme à la figure 34 ne font que modérer la vitesse des eaux qui descendent du talus supérieur ; elles ont encore un autre but, celui de donner plus de solidité au talus en adoucissant son inclinaison moyenne.

Celles qui sont établies comme à la figure 35 ont, en outre, l'avantage de recueillir les eaux dans l'angle A, pour être ensuite conduites dans les fossés du chemin de fer.

On donne généralement aux banquettes une pente transversale de 0^m,15 par mètre, et une pente longitudinale de 0^m,03 par mètre environ. Une pente longitudinale plus faible de 0^m,02 par mètre, par exemple, ne serait pas toujours suffisante pour le prompt écoulement des eaux.

Longueur. La longueur des banquettes est ordinairement de 30 à 40 mètres, de sorte que deux points de jonction de deux pentes opposées, l'un supérieur A, l'autre inférieur B (fig. 36), ont une différence de niveau de 1^m,00 à 1^m,20.

Les banquettes doivent être étagées et de 3 à 4 mètres de distance verticale les unes des autres, suivant que l'inclinaison des talus est plus douce ou plus roide.

Pour que les banquettes ne puissent pas se dégrader par le passage des eaux, on doit autant que possible les recouvrir de gazon.

Gazonnement. Le gazonnement se fait à plat et avec beaucoup de soin ; les joints doivent toujours être soigneusement fermés par l'introduction de bonne terre végétale (fig. 37 et 38).

S'il arrive que l'on manque totalement de gazon, on y sup-

plée au moyen d'une couche de bonne terre très-bien pilonnée (fig. 39).

Ces banquettes laisseraient à désirer sous le rapport de la solidité et de l'imperméabilité; mais elles sont cependant encore bien préférables aux banquettes pavées, à moins que le pavage n'en soit fait avec soin, sur mortier de chaux hydraulique; mais l'on conçoit que ce travail coûtant fort cher, il ne doit être fait que dans des cas tout à fait exceptionnels.

Les banquettes en pierres sèches auraient l'inconvénient grave de laisser passer l'eau entre les joints et sur la glaise, ce qu'on doit toujours éviter autant que possible. On m'objectera peut-être que l'eau séjourne ou s'écoule entre les joints des pierres sèches du revêtement des contre-fossés du chemin de fer, et qu'il n'y a à cela aucun danger; mais on doit bien faire attention que le cas n'est pas le même; ce qui peut arriver de pire par suite du passage de l'eau sous les perrés des fossés, c'est tout simplement de légères dégradations du terrain naturel, au lieu que l'eau qui passe ou qui séjourne sur les banquettes s'introduit dans les couches de glaise dont elle cause ensuite l'éboulement (fig. 40 et 41).

Pavage

Les cuvettes se font en gazon par assises ou en maçonnerie.

CUVETTES.

Les cuvettes en gazon ne doivent servir que dans le cas où les eaux peu abondantes ne coulent pas constamment. Elles sont d'un bon usage quand on s'en sert pour recueillir les eaux qui descendent dans les tranchées par les rigoles des champs.

Cuvettes en gazon

On doit toujours leur donner de fortes dimensions; leur épaisseur ne doit pas être moindre que 0^m,30.

Le passage de l'eau occasionne peu à peu la détérioration des cuvettes, surtout en coupant le gazon à l'angle de ces cuvettes. La sécheresse, après le passage de l'eau, détermine l'ouverture des joints qui existent entre les gazons. Pour que

ces cuvettes ne causent pas d'éboulements en laissant pénétrer l'eau jusque sur le terrain naturel, et pour qu'elles durent longtemps, il est indispensable qu'elles soient toujours bien entretenues.

Cuvettes
en maçonnerie.

Les cuvettes en maçonnerie sont bien préférables aux cuvettes en gazon; elles coûtent beaucoup plus cher, mais elles sont beaucoup plus solides et n'exigent pas d'entretien.

Elles doivent être maçonnées avec du mortier de chaux hydraulique et jointoyées avec du ciment de tuileaux.

Dans certaines tranchées du chemin de Mulhouse les cuvettes en maçonnerie ont été remplacées par des cuvettes en tuiles faîtières maçonnées qui sont moins coûteuses (fig. 42).

Les cuvettes en maçonnerie avec les dimensions des figures 42, 43 et 44, servent principalement à diriger dans les contre-fossés du chemin de fer les eaux provenant des banquettes.

Avec des dimensions plus faibles, on s'en sert pour recueillir les eaux de la surface supérieure; on les établit autant que possible au droit des rigoles des champs.

Cuvettes en tuiles
faîtières.

J'ai dit que les cuvettes en gazon sont avantageusement remplacées par les cuvettes en maçonnerie, au point de vue de la solidité; mais quand il s'agit d'en établir un très-grand nombre pour correspondre aux rigoles des champs, les cuvettes en maçonnerie ordinaire nécessiteraient une dépense trop considérable. J'ai proposé de les remplacer, dans les circonstances dont il s'agit, par des cuvettes en tuiles faîtières maçonnées, dont la disposition est indiquée aux figures 45, 46 et 47. Mon projet ayant été approuvé, je compte faire usage de ces cuvettes, qui seront beaucoup plus économiques aux tranchées argileuses de Vendevre.

Revers d'eau.

Il est reconnu que les eaux de pluie qui coulent à la surface du sol contribuent puissamment à la production des éboulements par leur introduction dans les crevasses produites par la sécheresse. Je pourrais citer des exemples nombreux :

les éboulements survenus à deux reprises différentes pendant le déblai de la tranchée du Ritterthal (ligne de Wissembourg), n'ont pas eu d'autre cause. On pourrait presque en dire autant de l'éboulement que j'ai remarqué à la tranchée de Champigny (ligne de Mulhouse) au mois de juin dernier; il est évident que l'éboulement le plus considérable de cette tranchée a été produit autant par les eaux qui descendent du coteau dans les rigoles qui séparent les pièces de vigne que par les eaux intérieures. Je connais encore d'autres tranchées qui sont dans le même cas; mais les exemples que j'ai cités précédemment suffiront.

On doit donc s'attacher avec le plus grand soin à ce que le terrain naturel, jusqu'à une distance suffisante de la crête supérieure des talus, soit toujours disposé de manière que les eaux de pluie s'écoulent librement sans pénétrer dans le sol. On y parvient par un règlement convenable et au moyen de banquettes en revers d'eau dont j'indiquerai tout à l'heure les différentes dispositions.

Si au-dessus de la crête supérieure d'un talus le terrain est horizontal dans le sens parallèle à la tranchée, ou s'il a une pente régulière sur une assez grande longueur, ce terrain doit être réglé en sorte qu'il présente une surface plane avec l'inclinaison qu'il a naturellement.

Si, au contraire, le profil du terrain parallèle à l'axe du chemin de fer présente des sinuosités nombreuses et un peu considérables, que ces sinuosités soient naturelles ou qu'elles résultent de la présence d'une rigole de séparation entre deux pièces de terre, le règlement de la surface du sol n'a pas d'autre but que d'en régulariser les diverses pentes de sorte qu'il n'y ait plus ni bosses s'opposant au passage des eaux, ni trous où ces eaux puissent séjourner.

Je suppose maintenant qu'une tranchée soit ouverte dans un terrain dont la pente transversale par rapport à l'axe du chemin de fer puisse être représentée par la ligne AB (fig. 48),

il est évident que si le sol naturel a été réglé comme il vient d'être dit, toutes les eaux venant de la surface BD se dirigeront vers la tranchée pendant que celles de la surface AC s'écouleront du côté opposé. Les eaux de la surface AC étant suffisamment éloignées de la tranchée, ne doivent plus inspirer aucune inquiétude. Il n'en est pas de même de celles provenant de la partie supérieure du coteau; comme elles sont en général très-abondantes, il est nécessaire de s'opposer à leur passage sur les talus qu'elles pourraient endommager.

A cet effet, il est utile d'établir sur le terrain naturel à la crête supérieure du talus comme l'indique la fig. 49 des banquettes en revers d'eau AB ayant à peu près les mêmes dispositions que les banquettes ordinaires et inclinées dans le sens opposé à celui du talus. Elles ont aussi une pente transversale de 0^m,15^c par mètre; leur pente longitudinale peut n'être que de 0^m,02 par mètre. On doit néanmoins la faire aussi rapide que possible.

Arrivées aux points les plus bas, les eaux sont reçues comme il a déjà été dit précédemment dans les cuvettes en gazon ou en maçonnerie par où elles s'écoulent dans les contre-fossés du chemin de fer.

Lorsque les rigoles des champs sont trop profondes pour qu'il soit avantageux d'établir des revers d'eau, on est alors forcé de construire une cuvette en gazon ou en maçonnerie en face de chaque rigole (fig. 50).

Quand on est obligé de construire des cuvettes à de courtes distances les unes des autres, il est souvent très-économique de supprimer la longueur des cuvettes en établissant des banquettes partant de la crête supérieure du talus A (fig. 51).

Il est facile de voir que les eaux de la rigole A étant dirigées sur la banquette AB, la cuvette AC est devenue inutile ainsi que les portions de cuvettes ED, GF, etc.

Il est vrai que de cette façon on est obligé de faire un sur-

croît de déblai; mais la dépense qui en résulte n'égale pas celle nécessaire à la construction de la cuvette AC et des portions ED et GF. Si cependant à cause de la longueur AB, la dépense que nécessite l'établissement de cette banquette devenait à peu près égale à celle nécessaire à la construction des cuvettes tout entières, il faudrait alors renoncer à la suppression de tout ou partie des cuvettes, à moins que l'on ait besoin de la partie supérieure à AB pour le recouvrement des talus.

Les banquettes en revers-d'eau présentent des avantages incontestables : elles remplissent complètement le but auquel on les destine; elles ne coûtent pas cher à construire et sont d'un entretien très-facile.

Elles sont infiniment préférables aux fossés de ceinture dont on fait encore aujourd'hui un assez fréquent usage.

Les fossés de ceinture ont généralement une grande longueur; la quantité d'eau qu'ils peuvent contenir à un moment donné peut être très-considérable. Malgré tout le soin apporté à leur construction, qu'ils soient revêtus d'un corroi en terre argileuse ou qu'ils soient maçonnés en pierres sèches, on pourra rarement empêcher les dégradations qui résultent du passage d'une grande quantité d'eau. Leur entretien, est très-difficile; de sorte que l'eau stationne presque toujours dans les excavations produites par le mouvement des eaux; l'on sait les accidents qui résultent de la stagnation de l'eau au-dessus des talus des tranchées. Les fossés de ceinture seront d'autant plus dangereux que par un besoin de pente ou autrement on est obligé de les creuser jusqu'à la première couche argileuse.

Fossés
de ceinture.

Pour que les fossés de ceinture ne puissent pas devenir des causes d'éboulements, il me paraît indispensable de les maçonner avec du mortier de chaux hydraulique. Ce travail est fort dispendieux, mais il est, selon moi, de la plus grande utilité quand on tient à établir des fossés de ceinture.

On pourrait me dire qu'il est nécessaire de détourner les eaux torrentielles qui descendent des coteaux à la suite des pluies, afin de préserver les talus des dégradations qu'elles pourraient y causer et surtout pour empêcher que ces eaux par leur abondance soient un obstacle aux travaux de déblai des tranchées.

Je comprends parfaitement bien la nécessité de donner à ces eaux une direction qui ne leur permette pas de causer de dommages; mais pour cela je proposerai un moyen qui pour être nouveau n'en est pas moins aussi praticable et beaucoup plus rationnel que la construction des fossés de ceinture.

Banquettes
pavées.

Je suppose qu'il s'agisse d'ouvrir une tranchée dans un terrain argileux fortement incliné dans le sens perpendiculaire à l'axe du chemin de fer (fig. 52) :

Le profil de la tranchée serait arrêté suivant les dispositions ordinaires, excepté que le talus supérieur aurait la forte inclinaison de 2 de base pour 1 de hauteur et que la 1^{re} banquette aurait une largeur de 2 mètres. Ces dispositions n'ont rien d'exagéré; car il arrive souvent que l'on donne aux talus des tranchées ouvertes dans un terrain fortement incliné une pente générale de 2 pour 1.

Au lieu d'établir un fossé de ceinture E (fig. 52) qui serait trop compromettant, je conseillerais de commencer le déblai de la tranchée en enlevant d'abord le prisme ABC; le talus AB serait immédiatement assaini et recouvert, et la banquette DA pavée en briques ou en carreaux ordinaires avec mortier hydraulique sur 0^m,60 de largeur dans sa partie adjacente au talus supérieur; les 1^m,40 restants seraient tout simplement gazonnés (fig. 53).

Avec une faible pente, cette banquette permettra néanmoins à une grande quantité d'eau de s'écouler aux extrémités des tranchées. La raison qui m'autorise encore à conseiller le pavage d'une partie de la banquette, c'est le passage continu des eaux provenant des caniveaux d'assainissement; je sup-

posé que la banquette a été établie assez bas pour recueillir les eaux du 1^{er} banc de suintement qui est généralement le plus abondant.

Non-seulement le pavage permettra de donner une faible pente à la banquette sans que pour cela il soit à craindre que l'eau puisse pénétrer dans les terres, mais il procurera encore l'avantage d'un entretien très-facile.

Il me suffira de dire pour compléter mes observations que les banquettes recevront les eaux de la surface supérieure du sol comme il a déjà été dit pour les revers-d'eau ordinaires. La fig. 54 peut donner une idée de la disposition d'une tranchée en cours d'exécution quand on a pris les précautions que je viens de mentionner. La fig. 55 représente à peu près une tranchée de la même espèce traitée par le mode ordinaire.

Il est facile de reconnaître au premier coup d'œil que le déblai d'une tranchée fait comme l'indique la figure sera bien plus facile par la suppression complète des eaux provenant de la surface supérieure du sol et l'on conviendra sans peine, ce qui est le plus important, que les chances d'éboulements causés par les eaux pluviales venant de coteaux supérieurs ne seront nullement à craindre en agissant de cette manière.

Cavaliers de dépôt.

Si l'on a remarqué toutes les précautions que je prends pour assurer aux eaux pluviales un libre cours, on concevra facilement à quel prix j'admettrais l'existence de cavaliers de dépôt au-dessus des talus argileux. Il est toujours dangereux de mettre en dépôt au-dessus des talus qui se trouvent du côté supérieur du coteau les terres provenant du déblai de ces tranchées. Un cavalier de dépôt sur le côté opposé n'aurait pas les mêmes inconvénients.

Le revêtement en pierres sèches des fossés de tranchées argileuses n'offre rien de bien intéressant. Pourvu que le fond du fossé et le talus opposé à la voie soient perreyés sur une épaisseur suffisante, les autres dispositions ne sont qu'accès-

PERRÉ.

soires. Cependant, si la banquette qui se trouve entre le fossé et le pied du talus de la tranchée n'est pas recouverte en maçonnerie, il est indispensable de la gazonner (fig. 56).

Perrés
dans le sable
mouvant.

Lorsqu'il s'agit de perreyer les fossés d'une tranchée sablonneuse, il peut arriver cependant que l'on éprouve quelques difficultés pour faire la fouille des perrés. Dans ce cas on doit encore faire usage des fascines de gravier semblables à celles qu'on emploie pour l'assainissement des talus des tranchées sablonneuses.

Je suppose donc qu'il s'agisse d'établir une tranchée sablonneuse dont les talus et la plate-forme sont complètement réglés, mais dont la pente n'est pas suffisante pour l'écoulement des eaux (fig. 57) ;

Si le sable contient une trop grande quantité d'eau, il ne sera pas possible de creuser les fossés comme dans un terrain ordinaire.

Il est évident que lorsqu'on aura construit l'un des fossés, le niveau des eaux intérieures ne s'élèvera plus qu'à celui du fond de ce fossé ou à peu près. La fouille de l'autre ne présentera plus alors aucune difficulté. Le travail essentiel, c'est donc de faire le déblai de l'un des fossés avec la fouille du perré.

Pour parvenir à ce résultat, voici comment on doit s'y prendre : en deux points déterminés par la largeur du fossé, on enlève des quantités de terre suffisantes pour placer une fascine en gravier de chaque côté AB (fig. 58). Ensuite, on déblaye la partie prismatique DE. Ce travail étant terminé sur toute la longueur de la tranchée, on laisse le fossé dans cet état pendant quelques jours, jusqu'à ce que le terrain soit assaini jusqu'au niveau de la ligne FG.

On peut alors répéter la même opération pour placer deux autres fascines GH (fig. 59), afin de pouvoir ensuite enlever la partie prismatique ILMN.

On attend encore quelque temps pour placer deux nouvelles fascines et débayer une autre partie du fossé.

Le travail étant continué de la sorte, le fossé aura enfin la forme de la fig. 60.

Il ne reste plus ensuite qu'à faire la maçonnerie. Ce dernier travail ne présente certainement plus aucune difficulté et le perré étant complètement terminé, le fossé pourra être représenté par la fig. 61.

L'on conviendra que par le moyen que j'indique on parvient aisément à faire la fouille du premier fossé. Les eaux ne s'écoulant au dehors que peu à peu ne pourront jamais déranger les fascines qui doivent être d'ailleurs fortement serrées les unes contre les autres et à joints recouverts. L'ouvrier éprouvera sans doute quelques difficultés pour se tenir sur des terres trop mouvantes ; il se placera sur des plats bords ou des planches suffisamment larges. Je dois dire encore que les terres doivent être lancées assez loin, et que le travail ne doit être fait que par un petit nombre d'ouvriers et autant que possible par un temps sec.

Le travail conduit de cette manière peut durer longtemps, il est vrai, mais si l'on songe à ce que les moyens plus énergiques présentent toujours d'inconvénients, à quel prix il font quelquefois gagner un peu de temps, on conviendra que celui que je propose est le plus simple et le plus économique.

A la tranchée de Hunsphach (ligne de Wissembourg), on a rencontré de semblables difficultés sur une longueur de 200 mètres environ. Pour faciliter la fouille des perrés, on a battu de chaque côté du fossé une rangée de pieux et pal-planches (fig. 62).

La dépense a dû évidemment être très-considérable et les difficultés du travail nombreuses. On avait en outre à craindre l'éboulement du talus de la tranchée ; car les terres pouvaient être, comme on le pense bien, fortement ébranlées par le battage des pieux.

Semis
et plantation
de chiendent.

Je n'ai rien à dire sur la manière de semer les différentes espèces de graines de plantes les plus utiles à la conservation des talus. Je me contenterai de quelques mots sur la plantation du chiendent.

M. Sazilly employait pour planter le chiendent un moyen défectueux dont il a reconnu lui-même les inconvénients. Celui que j'ai fait planter dans différentes tranchées de la ligne de Wissembourg a bien réussi et n'a pas causé la dégradation des talus.

Quand il s'agissait de planter du chiendent sur des talus recouverts, on en plaçait des racines sur le bord et entre chaque couche pilonée (fig. 63 et 64), de sorte que le travail se faisait très-facilement et qu'il était terminé quand le talus était complètement recouvert.

Sur les talus non recouverts, ou bien sur les talus revêtus d'une couche de terre végétale pilonée, j'ai fait pratiquer, au moyen d'une bêche, des ouvertures verticales de 0^m,05 de profondeur comme l'indiquent les fig. 65 et 66. Après y avoir placé des racines de chiendent, je faisais damer légèrement la couche pour fermer lesdites ouvertures et le chiendent ne tardait pas à croître d'une manière satisfaisante.

OBSERVATIONS
sur le
mode d'exécution
de déblai
des tranchées
argileuses.

Très-souvent le mode d'exécution du déblai des tranchées argileuses favorise singulièrement la production des éboulements. Je vais donc avant d'expliquer en détail les différents travaux nécessaires à la consolidation des talus éboulés, hasarder quelques observations sur le mode ordinaire du déblai des tranchées ouvertes dans un terrain argileux quand les transports se font au wagon.

Ce à quoi on paraît s'attacher le plus généralement dans les travaux de terrassement, c'est de terminer les déblais le plus promptement possible.

A cet effet, on dispose le travail de manière que la cunette soit toujours très-longue afin de pouvoir charger un plus grand nombre de wagons à la fois. De cette façon, on se réserve encore l'avantage d'une fouille plus facile lorsqu'il s'agit d'enlever les deux prismes qui restent de chaque côté de la cunette.

Ce mode d'exécution est donc très-avantageux en ce qu'il facilite le piochage des terres et qu'il permet d'employer beaucoup d'ouvriers à la fois. Par le beau temps, le déblai d'une tranchée avance ainsi rapidement. Mais à côté des avantages incontestables que je viens de citer, il a l'inconvénient grave de favoriser, comme je l'ai dit plus haut, les éboulements dans les tranchées argileuses et de donner souvent lieu aux éboulements de remblai.

Pour m'expliquer plus clairement, je prendrai pour exemple une tranchée argileuse représentée par la fig. 67. Je supposerai, en outre, au terrain naturel une pente transversale de 0^m,15 à 0^m,20 par mètre; il est très-probable qu'alors les différentes couches argileuses ont la même inclinaison.

J'admets que les prismes ABCD, EFGH sont par le beau temps dans des conditions suffisantes d'équilibre; mais il n'en sera plus de même si à la force de la pesanteur qui tend à faire tomber le prisme EFGI, vient se joindre l'action des eaux intérieures et des eaux de pluie. Que par la sécheresse il se produit une crevasse vers le point I (fig. 68), l'eau des pluies en s'introduisant par cette ouverture jusque dans les bancs de glaise amollira les terres et les masses isolées d'ailleurs par les fentes du terrain et placées sur des bancs de glissement très-inclinés, ne tarderont pas à se détacher complètement et à devenir elles-mêmes les causes de la rupture de masses plus considérables en s'opposant à l'écoulement des eaux intérieures. L'eau des pluies, facilement absorbée dans les vides résultant du mouvement des terres, vient ensuite joindre son action à celle des eaux intérieures.

Qu'on ne croie pas que j'exagère en disant que les crevasses produites par la sécheresse isolent les massifs de terre et que la quantité d'eau de pluie qu'elles absorbent suffit quelquefois pour causer des éboulements. Ceux qui ont l'habitude des travaux de terrassement ont pu souvent remarquer qu'il n'est pas rare de voir des fentes qui, descendant verticalement de la surface du sol, pénètrent dans les glaises et peuvent atteindre jusqu'à 2 et même 3 mètres de profondeur.

Quant à la manière dont les éboulements se propagent, si mes explications ne suffisaient pas, il ne me resterait qu'à citer des exemples. Je suppose (fig. 69) un éboulement qui aurait de 60 à 75 mètres de largeur en arrière de la crête supérieure du talus; des éboulements pareils ne sont pas rares. Je pourrais même ne parler que de ceux qui ont une largeur moindre, de 5 à 6 mètres de largeur, comme à la tranchée du Ritterthal. En suivant la marche des éboulements on reconnaîtra qu'ils se produisent successivement par parties distinctes d'autant plus larges que la hauteur du terrain au-dessus du banc de glissement est plus considérable.

Je dois ajouter que les neuf dixièmes au moins des éboulements ne se propagent pas d'une autre manière dans les tranchées argileuses où le terrain naturel a une pente un peu considérable.

Donc on doit éviter avec soin la production du premier éboulement, et pour cela il ne faut d'abord laisser que le moins possible et le moins de temps possible les terres argileuses avec une trop forte inclinaison.

J'ai dit qu'il résulte encore du mode ordinaire de déblai une grande partie des éboulements de remblai : comme on ne donne aux cunettes que la largeur nécessaire à l'établissement de la voie servant aux terrassements, il n'est pas possible que l'on puisse creuser une rigole ayant la largeur suffisante au prompt écoulement des eaux de filtration et des eaux de pluie. Il en résulte une grande quantité de boue dans les cunettes.

Ces boues enlevées pour l'entretien des voies dans la tranchée sont ensuite transportées en remblai où elles forment de véritables bancs de glissement comme je le ferai voir plus tard en parlant plus spécialement des éboulements de remblai.

Je suis incompetent, je l'avoue, pour juger du meilleur mode d'exécution du déblai des tranchées argileuses; mais en n'envisageant le travail que dans ses rapports avec les travaux d'assainissement et de consolidation des talus, je n'hésiterai pas à dire qu'il me semblerait préférable de déblayer la tranchée sur toute la largeur du profil, en réservant cependant une cunette d'une longueur suffisante; de régler les talus au fur et à mesure de l'avancement du déblai (ce qui permettrait de mieux reconnaître les suintements et d'assainir avant que la sécheresse ait délité le terrain argileux) et de creuser en même temps les contre-fossés pour l'assainissement du pied des talus et de la plate-forme.

Le déblai et la consolidation des talus ont été faits à peu près de cette manière à la tranchée de Tourbourg (ligne de Wissembourg); aussi, malgré l'abondance des eaux intérieures et malgré la mauvaise nature du terrain, on n'a pas eu d'éboulements à consolider; les parties argileuses assainies et recouvertes ont résisté déjà à deux hivers sans qu'il s'y soit manifesté la plus légère dégradation.

La question importante serait de savoir d'une manière positive quel est le mode le plus avantageux au point de vue de l'économie et de la promptitude du travail.

Quand on pense aux frais considérables occasionnés par l'enlèvement des boues après les pluies, à l'usure du matériel, à l'entretien difficile et fort coûteux des voies de terrassement, à la difficulté du travail quand il s'agit de charger des terres trop mouillées et au temps perdu par les ouvriers en attendant que les voies soient praticables après des pluies quelque peu abondantes; quand on se figure que ces inconvénients disparaîtraient presque entièrement en déblayant de la manière que

j'ai indiquée, je crois que peu d'avantages peuvent porter à préférer le mode ordinaire de l'exécution des déblais.

CONSOLIDATION DES TALUS ÉBOULÉS.

M. Sazilly, dans son Mémoire sur les travaux d'assainissement et de consolidation des talus, prescrit d'enlever toutes les terres en mouvement quand il s'agit de réparer un talus éboulé; il n'admet aucune exception à cette règle. Dans le cas où un éboulement aurait un volume considérable, les frais occasionnés par les travaux de consolidation deviendraient énormes s'il fallait enlever toutes les terres éboulées. Dans un grand nombre de circonstances, une pareille mesure n'est nullement nécessaire.

Je vais d'abord m'occuper des moyens à employer pour la consolidation des talus éboulés quand l'enlèvement des éboulis est nécessaire. Mais auparavant, pour faciliter mes explications, je dois dire quelques mots sur les différentes conformations des glacis.

Forme des glacis.

Les surfaces de glissement des éboulements qui n'ont pas d'autre cause que le défaut d'équilibre des masses ont en général une forme qui se rapproche sensiblement de celle donnée par calcul.

Pour les éboulements considérables causés par l'effet des eaux la forme du glacis est toujours dépendante de l'inclinaison et de la forme des bancs d'argile sur lesquels a lieu le mouvement des terres. De sorte qu'il suffit généralement d'observer la direction que prennent les différentes couches du terrain pour connaître d'avance, aussi exactement que possible et sans le secours de sondages, la forme des glacis. Le plus souvent ces différentes couches sont disposées parallèlement à la surface du sol; mais il arrive aussi quelquefois qu'elles ont une autre direction; elles offrent alors une incli-

naison particulière dans un sens ou dans l'autre avec une pente très-irrégulière.

Donc si un éboulement se produisait par l'action des eaux dans une tranchée disposée comme à la fig. 70, il aurait lieu suivant la ligne ABC. Dans le cas d'un terrain moins incliné (fig. 71), le glaciis serait sur le banc argileux BA et la surface du talus après l'éboulement enlevé serait représentée par la ligne courbe ABC.

A la tranchée du Riedling, la plupart des éboulements à leur origine avaient lieu sur des glaciis de forme ACDB (fig. 72). Cela tient probablement à ce que la surface supérieure de la première couche argileuse avait la forme ACDE.

Les plans principaux de clivage déterminent aussi quelquefois la direction des glaciis. La direction de ces plans est très-variable; mais elle est quelquefois très-distincte comme on a pu le remarquer à la 2^e tranchée de Villiers-sous-Marne pendant l'ouverture de la cunette.

Quelle peut être maintenant la forme des éboulements les plus considérables? C'est-là la question la plus importante et, je dois le dire, c'est presque à cause de cette question seule que j'ai dû m'étendre aussi longuement sur les différentes formes que présentent les glaciis.

Généralement, le glaciis d'un éboulement qui a une grande étendue est formé dans la partie inférieure par le banc argileux au-dessus duquel se trouve le suintement qui a été la cause ou bien l'une des causes de l'éboulement. De sorte que la plus grande partie d'un éboulement repose le plus souvent sur des plans inclinés dont la pente vers la tranchée est celle déterminée par l'inclinaison de la couche argileuse sur laquelle a lieu le mouvement des terres (fig. 73).

Je suppose maintenant qu'il s'agisse de consolider un talus éboulé, si l'éboulement est peu considérable, que sa largeur ne soit pas au moins égale à sa hauteur, alors il est nécessaire

d'enlever toutes les terres éboulées. Si au contraire la largeur de l'éboulement est considérable et si la pente inférieure du glacis a une pente moindre que $0^m,20$ par mètre, il devient inutile d'enlever toutes les terres éboulées.

Consolidation
avec enlèvement
des éboulis.

Pour consolider un talus éboulé quand le volume de l'éboulement est peu considérable et quand le glacis est trop fortement incliné, il faut d'abord enlever tout l'éboulis, jusqu'au terrain vierge en ayant soin de ne pas endommager le glacis en faisant le déblai.

La surface de l'excavation étant bien nettoyée, on assainit d'après les procédés déjà indiqués et l'on recouvre ensuite le talus avec une épaisseur suffisante de terre végétale.

On peut toujours dans le cas d'un talus éboulé représenté par la fig. 74 coeper le prisme qui a pour base le triangle ABC. La partie inférieure du terrain naturel acquiert par là plus de solidité; mais comme ce travail ne peut pas dépasser une certaine limite sans occasionner un délai trop considérable et sans obliger à un élargissement inutile de la tranchée, on se contente de disposer les terres du recouvrement de manière qu'elles puissent au besoin servir de contre-fort pour soutenir la partie CD du terrain naturel qui se trouve trop à pic.

Il me suffira pour compléter mes explications de figurer ici un profil en travers (fig. 76) et le plan (fig. 75) de l'éboulement qui a été consolidé tout récemment à la tranchée de Briel (ligne de Mulhouse).

On peut voir que si la partie ABCDEF du recouvrement pouvait suffire à garantir le talus des pluies et des gelées, et présenter une disposition qui lui donne toute la solidité nécessaire pour se soutenir elle-même, la partie GHIDE par sa disposition offre en outre une résistance assez importante à la

force qui pourrait solliciter le terrain à pic DL à se détacher pour tomber à son tour dans la tranchée.

Il peut arriver que le glacis ait sa partie inférieure plus basse que le fond du contre-fossé du chemin de fer. Alors il faut nécessairement n'asseoir le pilonage que sur un enrochement comme l'indiqué la fig. 77. Cet enrochement peut se faire en moellons, en débris de pierres, en cailloux ou en mâchefer selon l'espèce de ces matériaux que l'on a à sa disposition.

Si l'on pilonnait des terres plus bas que les contre-fossés, il arriverait nécessairement que la base du recouvrement serait toujours humide et perdrait beaucoup de sa solidité.

La consolidation d'un éboulement ordinaire comme il vient d'être dit ne présente aucune difficulté; ce qui est le plus important c'est le travail qui consiste dans l'enlèvement des éboulis qui doit toujours se faire très-promptement.

Quand les bancs de glissement ont une forte inclinaison il peut arriver que l'on ait beaucoup de peine à enlever les terres ébouées sans qu'il se produise immédiatement un autre éboulement en arrière de celui que l'on veut consolider. Ce qu'il y a à faire alors, c'est d'enlever les terres le plus promptement possible, en commençant le décapement par la partie supérieure.

Je suis maintenant amené à parler des travaux de consolidation d'un talus éboulé quand on n'enlève pas les éboulements.

Consolidation
d'un talus
quand on n'enlève
pas les éboulis.

Les moyens généraux dont on doit se servir à cet effet doivent avoir pour but : 1° de s'opposer à la production de nouveaux éboulements; 2° d'arrêter le mouvement des terres ébouées.

Je prendrai pour exemple ce qui a été fait pour la consolidation d'un éboulement à la tranchée du Hundsoff (ligne de Wissembourg). Le talus présentait à peu près la forme indiquée par la fig. 78.

L'éboulement avait été causé par un banc de suintement de 0^m 70^c de hauteur situé à la base du talus.

Il s'agissait tout d'abord de recueillir les eaux intérieures de filtration. Après avoir enlevé le prisme ABCD dont le déblai a été lancé en E, on a établi un caniveau d'assainissement (fig. 79). Ensuite on a recouvert le talus AD avec des terres bien pilonnées HICD. La partie déblayée restante a été ensuite remplie avec le reste des terres relevées, comme il a été dit ci-dessus, mais alors on s'est contenté d'un simple régalage.

Il ne restait donc plus qu'à maintenir la partie BCLM de manière qu'elle ne puisse jamais descendre dans la tranchée. La masse des terres ébouloées n'étant pas considérable et le glacis n'étant pas assez fortement incliné pour qu'il soit nécessaire de lui opposer un obstacle quelconque, on s'est contenté d'attendre quelques mois pour que le mouvement des terres soit arrêté; alors on a réglé la partie supérieure de l'éboulement, comme l'indique la fig. 79, et l'on a recouvert le talus LM d'une épaisseur de 0^m 30^c de terre pilonnée.

On n'a évidemment plus à craindre ni les eaux intérieures reçues immédiatement dans les caniveaux, ni les effets des eaux de pluie qui doivent s'écouler promptement dans la tranchée par suite d'une disposition convenable des talus et de la plate-forme de l'éboulement. Aussi je dois dire que l'éboulement du Hundsoff a très-bien résisté au dégel et aux fortes pluies qui ont suivi l'hiver de 1855-56, et qu'il n'y a pas eu lieu d'y faire la moindre réparation.

S'il s'agissait de consolider un éboulement dont le glacis serait plus fortement incliné que dans le cas précédent, et tel qu'il soit représenté je suppose par la fig. 80, on devrait d'a-

bord assainir le terrain vierge derrière l'éboulement, comme il a été dit ci-dessus; mais si l'on abandonnait à elle-même la masse éboulée, il arriverait presque toujours qu'elle glisserait constamment vers le fond de la tranchée, en raison de la fluidité des terres adjacentes au glaci. Ce que l'on doit faire alors, c'est d'opposer au mouvement des terres une résistance suffisante et d'en préserver ensuite la partie supérieure des eaux pluviales.

Pour arrêter le mouvement des terres éboulées, je conseillerais d'établir un contre-fort en terres bien pilonnées ayant à peu près la forme ABGDF de la fig. 81.

Ce contre-fort serait en outre séparé des terres éboulées par un empierrement destiné à préserver le contre-fort des eaux qui passent sur le glaci ou dans les crevasses qui existent entre les terres éboulées.

Je suis convaincu qu'un contre-fort en terre saine suffisamment garanti contre les eaux de pluie descendant des cotaux supérieurs est bien préférable à un contre-fort en maçonnerie de pierres sèches. Outre qu'avec des dimensions convenables on peut lui donner une force au moins égale et mieux appropriée que celle qu'on obtiendrait d'un contre-fort ordinaire en maçonnerie, il a l'avantage d'être beaucoup moins coûteux et d'une construction plus facile.

La seule difficulté qui se présente, c'est le déblai de la partie de l'éboulement qui doit faire place au contre-fort. En ayant toujours soin de ne construire le contre-fort que par petites parties, de 10 mètres de longueur, par exemple, on n'aura pas à craindre que le mouvement des terres vienne causer l'encombrement de l'emplacement du contre-fort à mesure que l'on fait le déblai en question.

Si un éboulement avait lieu sur un banc de glissement supérieur à la plate-forme du chemin de fer, les dispositions précédentes seraient encore applicables. Soit, par exemple, une tranchée représentée par le profil (fig. 82), le talus serait

suffisamment consolidé si on lui donnait la forme et la disposition de la fig. 83.

Dans les terrains fortement inclinés, il peut arriver que les éboulements descendent plus bas que la plate-forme.

Je suppose un terrain argileux ayant une forte pente transversale représentée par la ligne AB (fig. 84), celle des bancs de glissement CD, EF. C'est alors généralement parallèle à celle du sol naturel. Si donc un éboulement venait à se produire sur le banc de glissement EF, à cause de la résistance opposée par la masse LGHI, le glacis présentera une disposition particulière à peu près semblable à la ligne (fig. 84).

Pour la réparation d'un semblable éboulement, il se présente d'abord à l'esprit l'idée d'enlever une certaine partie des terres éboulées de telle sorte que le talus AB (fig. 85) soit très-peu incliné et en arrière de celui projeté, et cela afin de diminuer le volume de l'éboulement.

Je serais loin de conseiller une pareille mesure, il me paraît beaucoup plus rationnel de régler, au contraire, l'éboulement du côté de la tranchée avec la plus forte inclinaison qu'il soit possible de donner aux terres après avoir toutefois rendu à la tranchée toute sa largeur, et d'enlever ensuite un volume de terre ABC (fig. 86) en arrière de l'éboulement, afin de diminuer la poussée des terres.

J'aurais de plus, en agissant ainsi, l'avantage de pouvoir facilement assainir le terrain vierge en arrière de l'éboulement (fig. 86).

Il ne resterait plus ensuite qu'à régler la partie supérieure de l'éboulement, de manière que les eaux de pluie ne puissent pas pénétrer dans les terres et qu'elles soient promptement dirigées au dehors.

Ce règlement ne doit être fait que quelques jours après que l'on a déterminé le déblai de la partie ABC. Car alors les

terres ne doivent plus être sujettes à se mettre en mouvement.

Des éboulements pareils à celui représenté à la fig. 86 sont rares et sont le plus souvent produits par le poids des terres. Il me suffira de citer pour exemple la tranchée de Villerpau (ligne de Mulhouse).

La consolidation des talus éboulés, on le voit, ne présente pas de grandes difficultés, et l'on conviendra que les moyens que je propose sont plus efficaces et plus économiques que ceux généralement employés. Que n'a-t-on pas fait, par exemple, pour consolider le talus de droite de la fameuse tranchée de Voussy ; et encore, après bien des efforts et des dépenses considérables, s'est-on cru forcé de dévier la voie. Au moment du déblai de la tranchée, une dépense de 25,000 fr. eût largement suffi aux travaux d'assainissement et de consolidation du talus. Aujourd'hui, un pareil travail nécessiterait évidemment une dépense plus forte ; mais il est très-probable que par un temps convenable une somme de 30,000 fr. serait bien suffisante.

ENTRETIEN.

Lorsque les talus sont assainis et consolidés, des travaux d'entretien sont indispensables encore pendant une année ou deux. Ces travaux ne sont pas difficiles et coûtent très-peu. Ils consistent principalement à fermer les crevasses produites sur les talus et sur les banquettes par suite de la sécheresse ou par le tassement des terres rapportées ; à nettoyer avec soin les banquettes, pour que les terres du talus supérieur que les eaux de pluie entraînent avec elles ne soient pas un obstacle au libre écoulement des eaux. Ces travaux consistent surtout à boucher avec soin les trous pratiqués dans les revêtements et à l'angle des banquettes par les mulots, les taupes et même les vers que la fraîcheur des terres y attire.

A la tranchée de Renaudières (chemin du Centre), il s'est produit un éboulement considérable qui n'avait pas d'autre cause que le passage d'une taupe qui atteignait la première couche argileuse et qui correspondait à la surface du sol derrière un cavalier de dépôts.

Il est donc bien important de surveiller pendant quelque temps les tranchées consolidées : l'éboulement que l'on a dû réparer à la tranchée du Hundsoff (ligne de Wissembourg) n'a pas eu d'autre cause qu'un défaut d'entretien.

A la tranchée de Gagny (ligne de Paris à Strasbourg), on a été obligé de réparer un talus éboulé, malgré les travaux de consolidation qu'on y avait fait exécuter. M. Sazilly a attribué l'éboulement à un travail d'assainissement incomplet; il n'en est rien; l'éboulement a été causé par l'existence au-dessus du talus d'une crevasse que l'on n'a pas eu soin de fermer, il s'est produit quelque temps après que j'ai cessé de surveiller la tranchée, lorsque j'ai été envoyé sur la ligne de Tours à Bordeaux pour consolider, sous la direction de M. Morandière, la tranchée du versant méridional de l'Indre. On a fait alors la faute de retirer l'ouvrier que j'avais spécialement chargé de l'entretien des talus.

DÉPENSES.

Il ne reste plus maintenant qu'à donner les éléments nécessaires à la détermination du prix de revient des travaux d'assainissement et de consolidation des talus des tranchées.

CANIVEAUX.

1^o Matériaux.

Briques. La quantité de briques nécessaires à la construction d'un mètre courant de caniveau est déterminée par la longueur de celles dont on fait usage. Il en faut 12 par mètre de celles que j'ai dit être préférables pour l'assainissement des talus argileux ($0,25 \times 0,08 \times 0,02$). La valeur de ces briques peut être de 30 fr. le 1,000 rendues au chantier.

Le prix des briques pour 1^m courant de caniveau sera donc de $\frac{30 \times 12}{1,000} = 0 \text{ fr. } 36 \text{ (a).}$

Mortier. Il faut en moyenne 0^m3,011 de mortier hydraulique pour la maçonnerie d'un mètre courant de caniveau. En supposant que le mètre cube coûte 15 fr., on trouvera que pour 1^m courant de caniveau la dépense pour le mortier est de $0,011 \times 15,00 = 0 \text{ fr. } 16 \text{ (b).}$

Pierre cassée. Le cube de la pierre cassée qui entre dans la construction des caniveaux est, d'après les calculs que j'ai faits récemment, de 0^m3,038 par mètre de longueur. En supposant que le mètre cube de pierre cassée coûte 6 fr., transport compris, la dépense pour 1^m de caniveau sera $0,038 \times 6 \text{ fr.} = 0 \text{ fr. } 23 \text{ (c).}$

Gazon. La surface du gazon nécessaire au recouvrement de la pierre cassée est d'environ 0^m,50 par mètre courant. En supposant que le mètre carré de gazonnement à plat coûte 0 fr. 60, le prix du recouvrement en gazon de 1^m courant de caniveau sera donc $0,50 \times 0 \text{ fr. } 60 = 0 \text{ fr. } 30 \text{ (d).}$

J'ai choisi pour faire les évaluations précédentes les cas les plus défavorables. Ainsi, je suppose que le 1,000 de petites briques coûte 30 fr. : sur aucun des points de la ligne de Wissembourg le prix n'a dépassé 25 fr. le mille; — le prix du mortier, tel qu'il doit être pour la maçonnerie des caniveaux, n'atteint que très-rarement le chiffre que j'ai donné; — la moyenne du prix du mètre cube de pierre cassée s'élève rarement à 6 fr. : la dépense est bien plus faible encore quand on emploie des scories ou même des cailloux roulés; — je suppose enfin que le prix du mètre carré de gazonnement est de 0 fr. 60, dans cette somme est naturellement comprise l'indemnité due au propriétaire du terrain. Mais il arrive presque toujours qu'il est possible d'en extraire des parcelles de terrain comprises dans la zone d'acquisition, et alors le prix ne se compose plus que du transport et d'une main-d'œuvre bien

facile. Si maintenant on remplace le gazon par des plaques de glaise, le prix du recouvrement en question deviendra presque nul.

En réunissant les différents prix trouvés précédemment, on verra que la dépense pour matériaux nécessaires à la construction d'un mètre courant du caniveau est ainsi composé :

Briques.....	(a)	0 fr. 36
Mortier.....	(b)	0 16
Pierres cassées.....	(c)	0 23
Gazon.....	(d)	0 30
TOTAL....		<u>1 fr. 05</u>

2° Main-d'œuvre.

Fouille. Il est reconnu qu'un ouvrier peut faire la fouille de 50^m courants de caniveaux en 12 h., compris le règlement. Le prix moyen d'un terrassier étant de 3 fr. la journée de 10 h., on aura pour 1^m courant de fouille de caniveaux :

$$\frac{12 \times 3 \text{ fr. } 00}{10 \times 50} = 0 \text{ fr. } 072 (e).$$

Maçonnerie. Un maçon peut, dans des circonstances ordinaires, construire 50^m courants de caniveaux en 12 h. et il faut 1 manœuvre pour 2 maçons. Le prix de la journée d'un maçon étant de 4 fr. pour 10 h. de travail et de 3 fr. pour celle d'un manœuvre, le mètre courant de maçonnerie de caniveau doit revenir à :

$$\left(\frac{24 \text{ h.} \times 4 \text{ fr. } 00}{10 \text{ h.}} + \frac{12 \text{ h.} \times 3 \text{ fr. } 00}{10 \text{ h.}} \right) \frac{1}{100^m} = 0 \text{ fr. } 13 (f).$$

Le transport des matériaux tels que briques, mortier, gravier, gazon, se fait assez avantageusement au moyen de hottes. L'ouvrier peut circuler plus facilement sur les banquettes des caniveaux, et il y a beaucoup moins de dégâts à craindre que lorsque les transports se font à la brouette.

Les hottes que j'ai fait faire à Vendevre cubent en moyenne $0^m3,020$; elles sont en osier et doublées en tôle à l'intérieur.

Transports. — 1° Pierre cassée. De la manière indiquée ci-dessus, un ouvrier peut transporter 3^m cubes de pierre cassée en 10 h. Ce qui porte à 79^m la longueur des caniveaux, qui peuvent être remplis en 10 h. par la quantité transportée par un ouvrier.

En supposant qu'il faille 2 chargeurs pour 2 porteurs, 2×79^m ou 158^m courants de caniveaux seront remplis en 10 h. par 3 ouvriers ; à 3 fr. la journée de 10 h., ces 158^m coûteront $3 \times 3 \text{ fr.} = 9 \text{ fr. } 00$ de transport et 1^m courant :

$$\frac{9 \text{ fr. } 00}{158} = 0 \text{ fr. } 057 (g).$$

Je ne parlerai pas du transport du gazon ; le prix en étant compris dans les 0 fr. 60 comptés plus haut.

Réunissant donc les prix ci-dessus de la main-d'œuvre, on aura pour le prix d'un mètre courant de caniveaux :

Fouille	(e)	0 fr. 072
Maçonnerie	(f)	0 13
Transport de pierre cassée.....	(g)	0 057
TOTAL....		<u>0 fr. 259</u>

Ajoutant à cette somme le prix du transport des terres provenant du déblai des caniveaux, $0^m,10 \times 1 \text{ fr. } 00 = 0 \text{ fr. } 10$ et le prix des matériaux, on verra qu'un mètre courant doit revenir, dans des circonstances ordinaires, à

$$1 \text{ fr. } 05 + 0 \text{ fr. } 26 + 0 \text{ fr. } 10 = 1 \text{ fr. } 41.$$

REVÊTEMENTS.

Un chantier bien organisé pour le pilonage des terres ser-

Pilonage.

vant au recouvrement des talus doit être composé dans la proportion suivante :

2 chargeurs,
2 rouleurs,
4 lanceurs,
1 régaleur,
4 pilonneurs,
1 régleur,
1 chef d'atelier.

J'ai reconnu que le travail de ces 15 ouvriers peut produire 75^m carrés de revêtement de 0^m,30 d'épaisseur en une journée de 10 h. Si on suppose que les terrassiers soient payés à raison de 0 fr. 30 l'heure et le chef de chantier 0 fr. 50, la dépense de main-d'œuvre pour 75^m carrés de pilonnage sera donc de 47 fr. et pour 1^m carré de 0 fr. 626 (a).

Le recouvrement des talus en 3 couches, comme l'indique M. Sazilly, est abandonné depuis fort longtemps ; voici comment il se faisait :

Supposons que la fig. 87 représente un talus à consolider ; une première couche de terre remplissait les redans ; après le battage de cette première couche le talus droit était rétabli et les redans devenaient par conséquent inutiles. On répandait ensuite deux autres couches *a*, *b*, que l'on pilonnait ou plutôt que l'on battait séparément. De cette manière, on formait dans le recouvrement lui-même des surfaces lisses qui facilitaient le passage des eaux de pluie ou des dégels. Des revêtements semblables avaient très-peu de solidité : on les a remplacés par des revêtements pilonnés par couches horizontales de 0^m,15 à 0^m,20 d'épaisseur.

J'ai dit ailleurs la manière de pilonner les terres des recouvrements ; j'ai dit aussi le nombre d'ouvriers nécessaires à la bonne organisation d'un chantier de pilonnage. Il ne me reste plus qu'à indiquer la manière dont je dispose un atelier.

Il est avantageux de n'entreprendre les travaux de recou-

vement que sur une longueur totale de 30^m divisés en 3 entre-profil de 10^m.

Les ouvriers sont ainsi placés dans chacune des parties de la travée de 30^m : dans l'une travaillent les 4 piloneurs; dans une autre, 1 régaleur et les 4 lanceurs; et enfin dans la 3^e, le régleur : les rouleurs doivent décharger les terres dans l'entre-profil où travaillent les lanceurs et le régaleur.

De cette manière, le travail se fait beaucoup plus régulièrement; l'ouvrier ne perd pas de temps et il a bien vite compris le travail dont il est chargé.

J'ai l'espoir qu'on ne trouvera pas mal que je parle de l'organisation d'un atelier : il est bien reconnu que, de la bonne organisation d'un chantier, résultent souvent des économies considérables et un travail mieux fait.

J'ai supposé tout à l'heure que les terres du recouvrement étaient prises dans les cavaliers de dépôt provenant du retroussis de terre végétale qui se fait généralement en commençant le déblai des tranchées. Mais, quand par avance on reconnaît la nécessité d'assainir les talus d'une tranchée, il est très-avantageux de réserver au-dessus des talus une quantité de terre végétale suffisante au recouvrement et que l'on n'enlève que lorsqu'on en a besoin. C'est ainsi que l'on a pu avoir à proximité des terres toujours bien fraîches. On avait pris les dispositions nécessaires pendant le déblai pour qu'il reste au-dessus de la banquettes, au niveau de la partie supérieure des glaises, un volume de terre végétale et sable argileux correspondant à celui nécessaire au recouvrement de la partie argileuse du talus (fig. 88).

Dans de semblables circonstances, il suffit alors de 2 piocheurs, 2 lanceurs, 1 régaleur, 4 piloneurs et 1 régleur; ajoutons-y un chef d'atelier, nous aurons, en évaluant le prix de la journée comme ci-dessus, une dépense de 35 fr. au lieu 47 fr., ce qui ne porte plus le mètre carré de pilonage qu'à 0 fr. 466. On voit donc qu'en agissant comme je viens de le

dire on fait une économie réelle de 0 fr. 16 par mètre carré de pilonage.

Banquettes.

Les banquettes ont en général 1^m de largeur; donc, d'après le prix admis précédemment pour le gazonnement à plat, le mètre courant de gazonnement de banquettes coûte 0 fr. 60.

Les banquettes étant à 4^m de distance verticale les unes des autres, cette dépense 0 fr. 60 se répartit entre les 7^m,21 de distance suivant l'hypothénuse: d'où les banquettes coûtent $\frac{0,60}{7,21} = 0 \text{ fr. } 083 \text{ (b)}$ par mètre carré de talus.

Cuvettes.

Les cuvettes en maçonnerie construites à la jonction inférieure de deux pentes opposées de banquettes doivent se trouver, d'après ce qui a été dit déjà, à 60^m environ de distance les unes des autres. Or elles doivent avoir 1^m de largeur sur 0^m,30 d'épaisseur, ce qui fait qu'elles cubent 0^m3,30 par mètre courant. Donc, en supposant qu'un mètre cube de maçonnerie coûte 15 fr., on aura 4 fr. 50 pour prix d'un mètre courant de cuvettes, laquelle somme répartie entre 60^m carrés donne $\frac{4,50}{60} = 0 \text{ fr. } 075 \text{ (c)}$ par mètre carré de talus.

Semis.

Le mètre carré de semis en graines de luzerne et de foin est payé assez souvent à raison de 0 fr. 03 (d): cette somme me paraît bien suffisante.

Le mètre carré de recouvrement revient donc, tout compris :

Pilonage.....	(a)	0 fr. 626
Gazonnem ^t de banquettes..	(b)	0 083
Cuvettes en maçonnerie...	(c)	0 075
Semis.....	(d)	0 030
TOTAL...		<u>0 fr. 814</u>

Le cube du déblai enlevé pour faire place au pilonage est de 0^m,30 par mètre carré de talus. Le prix de ce déblai étant

fait à raison de 1 fr. le mètre cube, le prix précédent devient :

$$0 \text{ fr. } 81 + 0 \text{ fr. } 30 = 1 \text{ fr. } 11.$$

Je dois faire remarquer encore ici que j'ai supposé qu'il était nécessaire de transporter les terres à 30^m; que le prix du gazon comprenait l'indemnité au propriétaire du terrain où il a été extrait. Le prix 1 fr. 11 se réduirait à 0 fr. 80 en supposant qu'il soit possible de faire l'économie de 0 fr 16 expliquée plus haut et que le gazon soit extrait dans des terrains compris dans la zone d'acquisition pour la construction des chemins de fer.

Les prix que j'indique diffèrent sensiblement de ceux trouvés par M. Sazilly. Ainsi il évalue à 2 fr. 92 le mètre courant de caniveau ; j'ai fait voir déjà que, même dans des circonstances défavorables, il ne doit coûter que 1 fr. 41. Cette différence tient aux dimensions des briques qui exigent une fouille d'autant moins considérable qu'elles sont de moindres dimensions ; cela dépend surtout de la disposition de ses caniveaux qui exigeaient une fouille plus considérable, plus difficile et une plus grande quantité de pierres cassées.

La différence du prix des revêtements n'est que de 0 fr. 16 comparant le prix que je donne à celui de M. Sazilly ; mais il est bon d'observer qu'outre cette économie de 0 fr. 16 par mètre carré, j'ai fait entrer dans le prix 1 fr. 11 la dépense nécessaire à la construction des cuvettes en maçonnerie et au gazonnement des banquettes.

Quant au prix de revient du mètre carré de talus tout compris, assainissement et revêtement, il n'est guère possible de le déterminer exactement à l'avance. Il varie d'après la quantité des bancs de suintement. M. Sazilly cite la tranchée de Gagny où l'on n'a construit qu'un mètre courant de caniveau pour 6^m carrés de talus. Mais toutes les tranchées n'ont pas aussi peu de bancs de suintement. Je citerai aujourd'hui la tranchée de la Vinoterie où l'on est obligé d'établir presque 1^m courant de caniveau par mètre carré de talus. On conçoit

la différence qui doit résulter dans la dépense nécessaire aux travaux d'assainissement des talus de ces deux tranchées. Il est juste de dire que la quantité relative de caniveaux à la tranchée de la Vinoterie sera rarement aussi forte.

Règle générale, pour que les travaux d'assainissement et de consolidation des talus soient faits avec solidité et économie, il ne faut les exécuter que par des temps convenables. On ne devrait, autant que possible, faire ces travaux que du mois de mars au mois de septembre; ce serait le moyen de préserver les travaux des effets de la gelée par les feuilles et les racines de plantes semées avant l'hiver.

SYSTÈME

D'ASSAINISSEMENT ET DE CONSOLIDATION DES TALUS,

PAR LE DRAINAGE.

Le but que l'on se propose dans l'agriculture quand on veut assainir les terres au moyen de tuyaux de drainage, c'est de donner de l'écoulement aux eaux qui se trouvent en trop grande quantité sur les premières couches imperméables.

On doit reconnaître que le drainage pratiqué depuis fort longtemps, au moyen de simples fossés ou avec des pierrées et plus tard au moyen de tuyaux en terre cuite, est destiné à rendre de grands services à l'agriculture, soit en améliorant le sol, soit en facilitant la culture des terres.

Mais je crois que c'est à tort que l'on a voulu l'appliquer à l'assainissement des talus des tranchées. On a d'abord été séduit à la vue des bons résultats que l'on en a obtenus dans l'agriculture, et l'on n'a pas fait attention qu'il ne suffit pas que les eaux intérieures aient de l'écoulement pour que les talus des tranchées soient à l'abri de leur action.

J'ai l'espoir que ce que j'ai dit en commençant ne sera pas contesté : les éboulements des talus sont produits par l'action des eaux intérieures de filtration — et par les influences atmosphériques. Or, je dis et je soutiens que le mode d'assainissement au moyen de tuyaux de drainage ne s'oppose qu'imparfaitement à l'action des eaux intérieures, et qu'on n'a rien à en attendre pour préserver les talus des gelées, des pluies et de la sécheresse.

Je dois avouer que je n'ai jamais cru que le mode d'assai-

nissement au moyen du drainage puisse offrir le moindre avantage à côté des nombreux inconvénients qu'il présente dans son application.

Les partisans du drainage présentent deux objections contre le système d'assainissement de M. Sazilly : il n'a pas réussi partout et il coûte cher.

Je n'aurais pas cru que l'on pût jamais mettre en doute l'efficacité du système d'assainissement de M. Sazilly ; cependant, des ingénieurs eux-mêmes ont exprimé ce doute. A cela je répondrai que, s'il n'a pas réussi, c'est par la raison toute simple que les constructeurs qui en ont fait usage ne le connaissaient pas suffisamment ; car je puis affirmer que lorsque je suis chargé moi-même de la consolidation d'une tranchée ouverte dans un terrain argileux ou dans un sable mouvant, je garantis à coup sûr les talus des éboulements, pourvu toutefois qu'il me soit laissé une liberté d'action suffisante. Ce n'est certainement pas là une vaine fanfaronnade ; depuis douze ans, j'ai consolidé les talus de tronts à quarante tranchées, et s'il me fallait des témoignages, j'en aurais, ce me semble, de bien suffisants en produisant ceux de MM. Sazilly, Morandière, Petit, Lemoine, Feuerstein, de Régel, et surtout de M. Vuignor qui me fait exécuter des travaux de ce genre depuis bientôt cinq années.

Quant au prix de revient, je ne crois pas que le drainage soit plus économique ; j'essayerai de le faire voir tout à l'heure quand j'aurai signalé les principaux inconvénients que présente le système d'assainissements au moyen de tuyaux de drainage.

Il y a plusieurs manières d'assainir les talus au moyen du drainage : ou bien on place un tuyau pour recueillir les eaux de chaque suintement, ou bien l'on ne construit qu'une seule rigole à une certaine distance de la crête supérieure des talus. On cherche à recueillir les eaux intérieures en donnant à cette rigole unique la profondeur nécessaire pour que les tuyaux soient placés plus bas que le dernier banc de suintement. Par

l'une ou l'autre de ces deux méthodes, on crée de nouvelles chances d'éboulements; je vais le faire voir par les raisons suivantes.

Je suppose (fig. 89) un talus argileux assaini au moyen d'un tuyau de drainage. Il n'est pas possible de faire suivre à la rigole toutes les sinuosités des bancs de suintement; du reste, on ne paraît guère s'y attacher, et la preuve, c'est que dans les projets on calcule les pentes de ces rigoles de manière que les eaux aient un écoulement suffisant.

Il en résulte que les eaux intérieures du banc de suintement descendront dans la rigole après avoir parcouru la distance DC sur des terres argileuses coupées à pic. Tout le monde sait ce que cela peut avoir de dangereux, car l'eau en descendant entraînera avec elle des terres argileuses qui viendront obstruer le vide qui existe entre la terre rapportée T et le terrain naturel T'; elles détérioreront, lentement il est vrai, mais certainement, la partie à pic CD.

S'il n'existe pas de vide entre la terre rapportée et le terrain naturel, il arrivera évidemment que les eaux reflueront vers la partie supérieure suivant CE (fig. 90).

On peut me dire que, pour que les eaux descendent au fond de la rigole, il n'est pas nécessaire qu'il existe de vide entre le terrain naturel et la terre rapportée, qu'elles y descendent par suite de la perméabilité des terres. Cela peut être vrai; mais comment s'opère alors le mouvement des eaux?

Le remplissage des rigoles se fait ou en sable ou en argile.

Si la rigole se fait en terre sablonneuse, on doit s'attendre à ce que le sable soit toujours entièrement mouillé; car les eaux sont alors soumises à deux forces : celle de la pesanteur et celle au moins aussi énergique, la capillarité, de sorte que la figure 91 représente alors assez exactement l'état de la rigole de drainage.

Il en résulte évidemment que les parois de cette rigole sont constamment en contact avec l'eau et que le banc de suintement isolé AB fonctionnera encore comme auparavant, mais seulement avec moins d'intensité, et que les parties argileuses du prisme AC se ramolliront au point de perdre toute la solidité qui leur est nécessaire.

Si l'on suppose maintenant que le remplissage se fait en terre argileuse, ce que j'ai vu faire moi-même du reste, il arrivera que les eaux s'étendront dans toute la masse remblayée et la réduiront en boue. Et l'on doit encore s'attendre à la production de crevasses (fig. 92) par suite du tassement des terres ou plutôt par suite du retrait qu'elles éprouvent pendant les sécheresses. De sorte qu'aux effets des eaux intérieures viendra se joindre celle des eaux de pluie qui descendent sur les talus. L'inspection de la figure 92 explique mieux que je ne pourrais le faire dans quel état se trouverait la rigole et ce qui pourrait en résulter.

On peut diminuer, il est vrai, le tassement de ces terres par le pilonage; mais il résultera de ce travail le rétablissement des bancs de suintement. Les eaux intérieures passeront évidemment sur les surfaces lisses produites par le pilonage (fig. 93). Quel que soit d'ailleurs le mode de pilonage, on ne parviendra jamais à obtenir une masse de terre d'une densité parfaitement égale pour toutes ses parties, et l'on créera toujours de véritables bancs de suintement par la production de terres plus denses, par conséquent plus imperméables en contact avec des terres qui le sont moins.

J'admets pour un moment que les eaux de filtration descendront toutes au fond de la rigole sans causer le moindre dégât.

Mais là encore les eaux s'écouleront; quoi qu'on fasse, directement sur le terrain naturel. Cela est incontestable; d'abord, on ne peut pas nier que l'eau circule sur une longueur au moins égale à celle de la moitié du tuyau avant de pénétrer dans le joint (fig. 94).

Maintenant, est-il possible de régler si bien le fond des rigoles pour qu'il n'existe pas de vide ni en dessous ni de chaque côté des tuyaux ? Je ne le crois pas.

Si le terrain sur lequel repose le tuyau est une argile parfaitement compacte et tout à fait imperméable, il n'y aurait pas beaucoup de danger à ce que l'eau circule librement sur le terrain. Mais des terrains argileux parfaitement compacts sont très-rares ; ils se présentent le plus ordinairement par bancs isolés de peu d'épaisseur. Le plus souvent, l'argile est schisteuse, ou bien elle est divisée très-nettement par des plans de clivage obliques. On n'a point oublié que j'ai dit qu'il existe quelquefois des suintements dans une couche argileuse et j'en ai cité un exemple que l'on peut vérifier aujourd'hui encore à la tranchée de la Vinoterie (ligne de Mulhouse).

On ne doit pas compter que, dans la plupart des terrains pareils à celui que l'on rencontre au Ritterthal (ligne de Wissembourg) et à la Voivre (ligne de Mulhouse), les eaux puissent s'écouler sur le terrain naturel sans causer de dégâts.

On a pu voir au mois de mars dernier, à la tranchée du Ritterthal, un éboulement produit d'une manière assez remarquable : une partie du talus s'est détachée sur une longueur de 6 à 7 mètres, en suivant exactement le sillon creusé à la surface du sol pour l'établissement de la clôture sèche (en échalas). Il est incontestable que cet éboulement a eu pour cause l'existence de ladite rigole qui avait à peine les dimensions de la figure 95.

N'aurait-on pas raison de craindre qu'il arrive la même chose lorsque l'eau s'écoulera sur des terrains argileux d'une structure semblable ?

Maintenant, supposons qu'un suintement ait la forme ABCD (fig. 96), il n'est pas rare d'en rencontrer qui aient la même direction. Si la rigole de drainage devait traverser le banc de sable, il est évident encore que l'eau recueillie dans la partie supérieure passerait tout entière dans la couche sablonneuse.

On ne peut pas non plus espérer que les eaux arriveront toujours bien pures dans le tuyau de drainage. Elles entraîneront toujours avec elles des matières terreuses plus ou moins abondantes qui finiront par rendre les tuyaux inutiles, soit en fermant les joints lorsqu'ils sont trop étroits, soit en remplissant les tuyaux lorsqu'ils sont trop ouverts.

Depuis longtemps, on a reconnu l'inconvénient des prismes isolés. Les rigoles de drainage, généralement profondes, présentent toujours cet inconvénient.

Par suite de l'établissement de deux ou trois rigoles, le talus se trouve à pic sur une grande partie de sa hauteur par portions distinctes, il est vrai, mais le talus AB (fig. 97) prend en définitive la forme CDEFGHIILM (fig. 98) par suite du déblai des rigoles *a, b, c, d*.

Les inconvénients que je viens de signaler se rencontrent pour ainsi dire dans tous les systèmes d'assainissement au moyen du drainage. Je puis en citer encore quelques autres, qui sont particuliers à chacun des systèmes dont j'ai parlé en commençant cet article.

Rigole à chaque
suintement.

Les inconvénients particuliers à ce système sont : la difficulté du travail, qu'il s'agisse du déblai ou du règlement de la rigole. Le déblai, pour peu qu'il descende de 1 à 2^m de profondeur, devient un véritable draguage fort difficile et très-coûteux.

Si l'on ne fait pas suivre aux tuyaux toutes les sinuosités des bancs de suintement, il en résultera les inconvénients que j'ai indiqués plus haut ; si, au contraire, on veut leur faire suivre des courbes d'un rayon un peu faible, l'ouverture des joints sera trop considérable (fig. 99), ce qui permettra aux terres rapportées de pénétrer dans leur intérieur ou bien aux eaux de circuler abondamment sur le terrain naturel.

J'ai déjà signalé l'existence de crevasses profondes qui existent dans les terres. Si donc le terrain naturel venait à se cre-

vasser, ou s'il se trouvait crevassé d'avance, jusqu'au fond de la rigole, ce qui est très-possible, puisqu'on est censé ne pas recouvrir les talus, il est évident que les eaux intérieures passeraient par ces crevasses et finiraient bientôt par produire des éboulements.

Il est vrai que cet inconvénient ne se présentera pas lorsqu'on préférera établir une rigole unique, comme l'indique la figure 100.

Rigole unique.

Un travail de ce genre a été fait à la tranchée de Soultz-sur-Forêts (ligne de Wissembourg), avec cette seule différence que le tuyau a été remplacé par une rigole en briques garnie de pierres cassées. Quoique ce travail ait été dirigé par un constructeur très-habile, on n'est pas parvenu à arrêter les éboulements de la tranchée. Comme je l'ai déjà dit, les eaux intérieures ont repris leur cours en passant entre les couches pilonées; c'est ce qui explique la grande quantité d'eau que j'ai remarquée à chaque banc de suintement lorsqu'au printemps de l'année dernière j'ai été spécialement chargé des travaux d'assainissement et de consolidation des tranchées de la ligne de Wissembourg.

Il est inutile d'insister sur les difficultés d'un pareil travail; il suffit de mentionner la nécessité d'un blindage, des échafaudages pour lancer la terre à 4 ou 5 jets de pelle dans un espace très-restreint et des terres devenues très-fluentes par la présence des eaux de pluie et des eaux de filtration.

Il peut arriver quelquefois, comme le fait remarquer M. Sazilly, comme tout le monde du reste peut s'en convaincre en examinant les talus des tranchées argileuses, mais dans le sens longitudinal de ces tranchées, il peut arriver, dis-je, que l'eau des suintements s'écoule par siphonnement. Ce cas peut être rare, c'est vrai; mais on doit remarquer que seulement pour une tranchée de 8^m de hauteur, le fond de la rigole se trouve à plus de 12^m du pied du talus, et que, sur une longueur pareille, un banc de suintement peut fort bien varier

sa direction d'une manière très-sensible. Il est facile de comprendre que la difficulté du travail sera toujours en raison de la profondeur de la rigole (fig. 101).

Donc, on est forcé de convenir que par le système de drainage on n'assainit qu'imparfaitement les talus des tranchées, qu'il nuit généralement à leur solidité et qu'il devient quelquefois lui-même une cause d'éboulements.

Je vais maintenant examiner la raison d'économie que les partisans de ce système ont le soin de mettre toujours en avant.

Il est évident que pour comparer le prix de revient des travaux d'assainissement d'après le système de drainage et d'après celui de l'ingénieur Sazilly, il ne faut prendre dans celui-ci que la dépense nécessaire à la construction de caniveaux d'assainissement, puisque les tuyaux de drainage ne peuvent avoir pour but que de le remplacer et de ne remplacer que lui seul. Le revêtement, les banquettes, les cuvettes, etc., sont des moyens préservatifs différents qui s'opposent à des causes différentes.

J'ai donné des chiffres quand il a été question d'indiquer aussi approximativement que possible le prix de revient des travaux d'assainissement et de consolidation des talus d'après le système de M. Sazilly. Je n'essayerai pas d'en faire autant pour les travaux de drainage ; je ne crois pas que personne puisse fixer ces prix à l'avance.

Le drainage des talus se compose de trois parties : la fouille, le règlement de la rigole et la pose des tuyaux.

Je ne crois pas, encore une fois, que l'on puisse se figurer d'avance à quel prix peut revenir le mètre cube du déblai des rigoles ; on s'exposerait à bien des mécomptes si on se basait pour cela sur des observations faites pour le déblai des tranchées ou bien pour la fouille des ouvrages d'art. L'ouvrier doit être excessivement gêné pour piocher et pour lancer ses ter-

res; il doit enlever la plupart du temps autant de boue que de terres saines, de sorte que le travail se fait très-lentement et avec beaucoup de peine. Je ne parle pas des circonstances, assez nombreuses pourtant, où il est prudent, quelquefois même nécessaire de maintenir les terres au moyen de blindages.

Le règlement est aussi une opération très-difficile : l'ouvrier a naturellement beaucoup de peine à se tenir en équilibre sur le talus, et ce n'est qu'après bien des efforts qu'il doit parvenir à régler convenablement le fond de la rigole, d'une manière aussi satisfaisante que possible. Ce travail se complique singulièrement quand il a été nécessaire d'établir des blindages pour la sécurité des ouvriers et pour le maintien des terres, ou bien encore lorsque la rigole traverse des bancs de pierre.

Le placement des tuyaux se fait assez facilement au moyen des crochets que l'on a imaginés pour cet usage. Cependant on doit convenir que c'est là une opération fort délicate que l'on ne doit pas confier au premier ouvrier venu; j'ai déjà dit les inconvénients qui résultent de l'irrégularité des joints entre les tuyaux.

Il est tout à fait inutile de parler de la dépense nécessaire à l'établissement d'une rigole unique en arrière de la crête supérieure des talus; ceux qui connaissent ce travail savent qu'il coûte quatre ou cinq fois plus cher que les assainissements faits avec de simples caniveaux et un recouvrement des talus.

En énumérant les difficultés du travail quand il s'agit d'assainir des talus au moyen du drainage, je crois avoir suffisamment démontré que ce système n'est pas plus économique que celui de M. Sazilly. J'ai fait voir son insuffisance quand il s'agit simplement des talus des tranchées ouvertes dans un terrain argileux. Il ne me paraît pas nécessaire de dire qu'il réussira encore bien moins dans un terrain sablonneux qui contient beaucoup d'eau, comme à la tranchée de la Schautz

(ligne de Wissembourg). Il suffit de se représenter le sable mouvant pour être convaincu dans ce cas encore de l'inefficacité du système de drainage.

Je suis convaincu que ceux qui combattent le système d'assainissement de M. Sazilly n'ont pas suffisamment étudié sur le terrain les effets des eaux intérieures et des gelées. Ils ont de la peine à se figurer qu'il ne faut souvent qu'une quantité d'eau très-faible pour produire un éboulement. On cherche, dit-on, à assainir et à consolider les talus avec économie; mais, je le demande, est-ce dans un but d'économie que l'on a consolidé un éboulement d'après la figure 102. Le plan du projet, tel que je le représente ici, m'a été communiqué tout récemment. N'était-il pas beaucoup plus simple et surtout plus économique d'assainir et de consolider ce talus d'après les dispositions de la figure 103?

On ne contestera pas que la rigole de drainage coûte incomparablement plus cher que le caniveau d'assainissement. Le pilonage de la figure 102 ne peut pas se comparer à celui que j'aurais conseillé de faire figure 103; le premier est certainement moins solide et plus coûteux. Moins solide, parce qu'il repose sur une surface courbe sur laquelle le terrain naturel lui-même a glissé; j'admets que les eaux intérieures qui ont pu causer l'éboulement soient complètement détournées, il est toujours certain que d'un autre côté la force de cohésion entre le terrain naturel et le revêtement est à peu près nulle, pendant qu'elle pouvait avoir beaucoup d'énergie avant la production de l'éboulement.

On admettra, je n'en doute nullement, que le prisme ABCDEF (fig. 103) est dans des conditions d'équilibre suffisantes et qu'il sert même de contre-fort au terrain naturel. Je ne pourrais pas expliquer cela théoriquement; mais je suis trop sûr de ce que j'avance pour croire que le calcul puisse ne pas me donner raison.

Il est encore évident que le pilonage de la figure 102 est beaucoup plus coûteux que celui fait selon le profil figure 103;

d'abord, en raison du volume et du transport des terres. En enlevant le prisme GHI (fig. 103) on augmente la force de stabilité du terrain naturel; de plus, les terres du pilonage étant prises à la partie supérieure du sol sont généralement propres au pilonage, de sorte que l'on obtient ainsi sans aucun transport des terres convenables, bien fraîches, pour piler le revêtement et le contre-fort.

La construction d'un fossé maçonné avec mortier hydraulique part d'un principe juste. C'est une bonne précaution, en effet, que de préserver des eaux de pluie les talus de la tranchée et les terres rapportées dans ladite rigole; mais il est à craindre que par suite du tassement des terres il se produise des fissures entre les terres et la maçonnerie ou entre les pierres elles-mêmes; et d'ailleurs, l'établissement d'une rigole en revers d'eau (fig. 103) remplit bien plus complètement et à moins de frais le but que l'on se propose, quand il s'agit de préserver la surface des talus des effets des eaux de pluies.

Donc ce n'est ni pour une raison de solidité, ni pour une raison d'économie, que le profil (fig. 102) a été proposé pour l'assainissement et la consolidation d'un talus éboulé.

On dit que l'on a fait des essais du drainage des talus et que l'on a réussi. J'ai vu moi-même faire un essai semblable; c'était dans une tranchée qui aurait bien pu se passer de travaux d'assainissement, et encore avait-on eu la bonne précaution de mettre les talus à 2 de base pour 1 de hauteur, et de disposer de 3 en 3 mètres de hauteur des banquettes de 2^m de largeur.

On croit avoir réussi quand un talus a passé au été et même un hiver sans éboulement, mais il ne faut pas se faire illusion; l'effet des eaux est lent et certain si on n'y porte pas un remède suffisant, et un éboulement peut très-bien se produire au bout de quelques années aux endroits où on s'y attendait le moins.

On croit surtout avoir réussi à assainir un talus quand à

l'extrémité d'une rigole on voit couler un peu d'eau. Cela est si vrai que j'ai vu dernièrement établir une rigole d'assainissement à 2 mètres en contre-bas de la plate-forme. Tout le monde admettra avec moi que cette rigole ne servait pas à autre chose qu'à faire voir à l'extrémité de la tranchée une certaine quantité d'eau provenant de l'intérieur des terres (fig. 104).

Je terminerai par un croquis à l'aide duquel on pourra facilement faire la comparaison des deux systèmes d'assainissement.

REMBLAIS ARGILEUX.

Il arrive souvent que des éboulements surviennent dans les remblais faits avec des terres argileuses. Je vais essayer de présenter quelques observations sur les travaux qui me paraissent les plus utiles, les plus économiques pour prévenir les éboulements de ces remblais ou pour réparer ceux qui viennent à se produire.

Les transports des remblais argileux de quelque importance sont le plus souvent faits au wagon. C'est dans cette supposition que je vais examiner les principales causes des éboulements.

Cause
des éboulements.

Les éboulements des remblais argileux peuvent se produire de trois manières principales :

1° Par la superposition de deux couches de terrain de nature différente, l'une inférieure AB imperméable, l'autre supérieure CD perméable (fig. 106). On remarque fréquemment dans les remblais au wagon que des éboulements surviennent de préférence dans les endroits où l'on a déchargé du sable, quand il s'en est trouvé une certaine quantité dans le déblai des tranchées.

2° Par l'interposition de couches de boue AB provenant du déblai des cunettes (fig. 107), quand on n'a pas pris la précaution de les mettre en dépôt à l'entrée des tranchées.

3^e Les remblais au wagon se composent généralement de terres déposées de deux manières et à deux reprises différentes. Le noyau du remblai est formé d'abord avec des terres transportées au moyen des wagons qui se déchargent en avant ; ces terres extraites dans les cunettes contiennent proportionnellement plus de parties argileuses que celles qui forment les prismes latéraux du remblai ; celles-ci sont transportées avec des wagons au moyen desquels elles sont déchargées ensuite sur les côtés.

De sorte que la partie centrale du remblai est composée d'un terrain plus imperméable que celui des prismes latéraux (fig. 108), en raison de ce qu'il contient plus de parties argileuses à volume égal et du tassement qui s'est déjà produit par le temps, et le passage des wagons avant qu'on ait déposé les prismes A et B.

Dans l'une ou l'autre des trois dispositions que je viens d'examiner, il est évident que l'action de l'eau sera ici encore, comme dans les tranchées la cause principale des éboulements.

La couche sablonneuse de la figure 106 procure un passage aux eaux du remblai, que ces eaux proviennent des pluies ou des dégels ou de la fonte des neiges. Le mouvement des eaux s'opère exactement comme s'il se produisait entre différentes couches du terrain naturel. Les eaux du corps du remblai une fois parvenues à la base y ramollissent les terres et occasionnent ainsi l'éboulement des prismes P, P' (fig. 106).

Les boues déposées dans un remblai ne séchent que très-lentement parce qu'elles sont tout à fait privées du contact de l'air. De sorte que les terres fluentes des cunettes, lorsqu'elles sont transportées dans un remblai, ne doivent acquérir quelque solidité qu'au bout d'un bon nombre d'années. Ces boues, en raison de leur fluidité, constituent alors de véritables bancs de glissement en tout semblables à ceux que l'on rencontre dans les éboulements des tranchées (fig. 107).

Lorsque la disposition d'un remblai argileux se rapproche de celle indiquée figure 108, il résulte évidemment de la différence du tassement des terres qu'il doit se produire des crevasses entre les terres de densité différente. L'eau qui s'introduit dans l'intérieur du remblai au moyen de ces crevasses, lorsqu'elle sera parvenue à une certaine profondeur, déterminera encore le ramollissement des terres, et l'éboulement des prismes latéraux AB (fig. 108).

Moyen de prévenir
les éboulements.

Lorsque l'on remarque que le plus grand nombre des éboulements se produisent sur des bancs de glissement fortement inclinés et que cette inclinaison résulte de la manière dont les terres ont été placées, on est naturellement porté à croire que l'on supprimerait la plus grande partie des chances d'éboulements en effectuant le transport des terres au tombereau. De cette manière, en effet, les couches étant disposées horizontalement et le tassement étant moins considérable par suite du passage des voitures, on ne devra craindre le plus souvent que quelques dégradations superficielles sans importance ; mais encore est-il indispensable d'exécuter les remblais sur toute la largeur des profils.

Au remblai du Ritterthal (ligne de Wissembourg), les petits éboulements survenus au printemps dernier, quoique les transports y aient été faits au tombereau, n'ont eu pour cause que l'existence des crevasses résultant de la différence du tassement entre les terres déposées dans le principe et celle rapportées pour compléter la largeur des remblais (fig. 109).

Quand on sera obligé d'effectuer les transports au wagon, il sera toujours très-difficile, presque impossible même, d'éviter les différentes dispositions des terres qui donnent lieu aux éboulements de remblai. La seule chose facile, c'est de mettre en dépôt les boues des cunettes ; c'est là du reste une précaution qu'on ne devrait pas négliger.

Je crois que l'on doit toujours se défier des remblais en glaise quand les transports se font au wagon. Il me paraît donc prudent de prendre à l'avance certaines dispositions par

suite desquelles on n'ait plus à craindre la production des éboulements.

On parviendra à ce résultat en établissant de chaque côté du remblai un contre-fort en terre végétale ou sablonneuse séparé du remblai par un empierrement (fig. 110).

Les contre-forts faits en bonne terre pilonnée par couches de 0^m15 à 0^m20 d'épaisseur auraient un volume proportionnel à la hauteur du remblai. Il me paraîtrait suffisant d'établir, pour un remblai de 10^m de hauteur, des contre-forts ayant environ 6^m50 de largeur moyenne sur 4^m de hauteur.

La base des contre-forts serait disposée avec une pente de 0^m05 vers l'axe du chemin de fer.

La résistance que peut présenter un semblable contre-fort est considérable ; elle serait bien suffisante lors même qu'il s'agirait de maintenir la moitié du remblai. La seule précaution indispensable, c'est d'en préserver les terres contre les eaux pluviales et surtout de celles provenant de l'intérieur du remblai.

Pour préserver le contre-fort des eaux de pluie, il suffit d'un règlement du talus et de la banquette fait comme l'indique la fig. 111. Pour le préserver des eaux intérieures du remblai, il est nécessaire de l'en séparer au moyen d'un empierrement d'une épaisseur de 0^m30 environ (fig. 112).

Au lieu de faire un enrochement comme l'indique la fig. 112, il serait plus facile et plus économique d'établir un filtre en fascines de pierres cassées ou de cailloux (fig. 113). De cette façon on n'aurait pas non plus à craindre que les boues puissent s'introduire dans les vides qui existent entre les pierres ou les cailloux.

La question importante consiste à savoir de quelle manière se fera ce contre-fort, s'il doit être établi avant ou après le remblai et où l'on doit prendre les terres ayant les qualités que j'ai indiquées plus haut.

Autant que possible les contre-forts doivent être faits avant le remblai ; ils sont de cette manière plus faciles à construire, et lorsque plus tard on transportera les déblais de la tranchée, les terres ayant déjà opéré leur tassement, on pourra compter sur une résistance plus considérable.

Il peut n'être pas nécessaire de prendre les terres des contre-forts dans les tranchées ; il est beaucoup plus simple de les prendre dans l'emplacement même du remblai comme l'indique la fig. 114.

Le volume de prisme ABCD ne correspondra pas toujours à celui des contre-forts ; il sera moins considérable au point où le remblai atteint sa plus grande hauteur ; mais il sera plus fort aux extrémités du remblai.

Je suppose pour exemple un remblai de cinq à six cents mètres de longueur représenté par les fig. 115. Le volume des contre-forts par mètre courant aux points AB du plan est de 45^m28 , et le prisme correspondant est de 30^m92 ; mais aux points CD, le cubo des contre-forts n'est que de 4^m42 pendant que le prisme donne 18^m26 par mètre courant de remblai. Il y aura donc compensation. On sera obligé de transporter à la voiture une certaine quantité de terres sur une longueur moyenne inférieure à 100^m ; mais on aura l'avantage d'avoir à l'avance des contre-forts sur la solidité desquels on peut compter.

Lorsque les contreforts sont faits avant le remblai on est obligé de donner à la ligne EC (fig. 114) une inclinaison opposée à celle du talus du remblai ; celle qui est indiquée sera bien suffisante ; les fascines, quand on en fait usage, servant provisoirement de revêtement.

Il résulte d'une disposition des terres d'un remblai lorsqu'elle est semblable à l'une de celles indiquées fig. 106, 107 et 108, que les eaux passant entre différentes couches trouveront une issue dans l'empierrement ou dans le filtre séparant le remblai d'avec les contre-forts.

On remarque aussi que les éboulements des remblais sont presque toujours causés par le ramollissement des terres de la base. Donc, en consolidant la partie inférieure des remblais jusqu'à presque moitié de leur hauteur, on parviendra à maintenir l'équilibre des terres. On pourrait objecter qu'à partir du niveau de la banquette des contre-forts le remblai peut être considéré comme ayant une nouvelle base, et qu'alors on doit craindre des éboulements pareils à ceux qui se produiraient dans des remblais ayant pour hauteur la distance verticale entre la banquette et la plate-forme du chemin de fer. A cela je répondrai que les eaux du remblai descendant plus bas que la partie supérieure du contre-fort, le ramollissement des terres du remblai n'aura pas lieu d'une manière sensible plus haut que ces contre-forts et si l'on donne aux talus du remblai une inclinaison de 2 de base pour 1 de hauteur, comme cela se fait assez souvent pour les remblais argileux, on ne devra plus craindre tout au plus que des éboulements de surface de peu d'importance.

Le profil suivant (fig. 116,) indique les dispositions qui me semblent les plus avantageuses pour la consolidation d'un remblai argileux.

Il est un peu plus difficile de réparer les éboulements que de les prévenir. On doit encore ici recourir à l'établissement d'un contre-fort. Je suppose un talus éboulé (fig. 117).

Si l'on se contentait d'enlever l'éboulis et de compléter le profil en pilonnant des terres dans la partie éboulée fig. 118, on s'exposerait à faire un travail inutile. Car, malgré toutes les précautions qu'il est possible de prendre pour le choix des terres, l'exécution du pilonnage, la disposition du glacis par gradins afin de relier les terres, on ne parviendra pas à empêcher un tassement plus ou moins considérable qui peut aller jusqu'à 0^m08 par mètre pour de bonnes terres soigneusement pilonnées. Il se formera donc entre le remblai et les terres nouvellement apportées une crevasse fig. 118, qui, en permettant aux eaux de s'introduire dans le remblai, déterminera

le plus souvent la chute du prisme que l'on croyait destiné à le consolider.

Pour preuve de ce que j'avance, je pourrais citer ce qui est arrivé au remblai de la Sauerbach (ligne de Wissembourg).

Le remblai en terres argileuses s'est éboulé de chaque côté sur presque toute sa longueur ; l'endroit le plus dangereux a été consolidé au moyen de contre-forts et a résisté aux effets du dégel ; les autres parties n'inspirant pas autant de craintes, on s'est contenté de reprendre les terres et de les piloner. Quoique ce travail ait été fait avec beaucoup de soin et le plus souvent par un temps convenable, une grande partie de ces talus s'est éboulee de nouveau sur les anciens glaciais.

L'établissement d'un contre-fort me paraît donc le plus souvent nécessaire, et le filtre en fascines ou l'empierrement toujours indispensable. Par le moyen du contre-fort on aura en outre l'avantage de pouvoir se dispenser d'enlever tous les éboulis ; opération difficile et très-coûteuse.

Je suppose donc qu'il s'agisse de consolider un talus éboulé comme à la fig. 117. On y parviendra, en donnant au remblai les dispositions de la fig. 119.

Pour n'enlever les terres éboulees que sur la longueur nécessaire à l'emplacement du contre-fort, il faut ne faire le déblai que par parties de 10^m au plus, proportionnelles au degré de fluidité des terres. De cette manière on ne dépassera que très-peu la ligne des fascines si l'on travaille par un temps convenable avec un nombre suffisant d'ouvriers.

On doit encore ici, comme je l'ai dit à l'article précédent, disposer le terrain naturel à la base avec une pente de 0,05 par mètre environ vers l'axe du chemin de fer. Le volume du contre-fort doit être proportionné à l'importance des éboulements ; il doit varier en raison de la masse éboulee et de la hauteur du remblai. Quant à la nature des terres, on peut se servir de celles qui sont éboulees si l'on travaille par

un beau temps ; dans le cas contraire il est nécessaire de ne se servir que de bonnes terres végétales ou sablonneuses quand bien même on serait obligé de faire des emprunts.

Pour isoler le contre-fort d'avec le remblai on aura recours, comme je l'ai déjà dit, à un empierrement ou mieux aux fascines de gravier.

DÉPENSES.

La dépense nécessaire à la consolidation d'un remblai argileux ne peut guère s'évaluer d'avance avec une certaine approximation. Elle varie avec la hauteur des remblais, leur disposition, la nature des terres, la distance du transport et le prix des pierres ou des cailloux.

Je vais reprendre la supposition que j'avais faite de consolider les talus du remblais, fig. 115. Le cube des contre-forts est d'environ 8,200^m. Or, en supposant que la dépense pour fouille, transport et pilonage des terres soit de 1 fr. par mètre cube, le prix des contre-forts sera 8,200 fr.

Le cube des empierrements serait à peu près de 750^m. Le prix étant supposé de 10 fr. le mètre cube, la dépense nécessaire à l'établissement de ces empierrements serait donc de 7,500 fr.

Les travaux de consolidation du remblai, fig. 115, coûteraient donc 15,700 fr.

Quoique cette somme soit assez peu importante, on ferait exécuter les mêmes travaux à un prix moindre et dans de meilleures conditions en remplaçant l'empierrement par un fascinage.

Les fascines ayant 0^m,25 d'épaisseur, le cube de la pierre cassée, ou des cailloux, ou des scories, sera au plus de 627^m. En faisant les fascines avec les dimensions suivantes : 0^m70 de longueur, 0^m25 de diamètre, on devra en employer 26,20

La fourniture du bois (bouleau ou genêt), la façon et la pose des fascines peuvent être évaluées à 0 fr. 15 c. pièce, ce qui fait pour les 20,200 fascines une dépense de 3,030 fr.

Les pierres cassées étant payées à raison de 7 fr. le mètre cube, la dépense totale sera de 4,389 fr.

En remplaçant les empierrements par les fascines en pierres cassées, l'économie ne sera pas appréciable, elle sera peut-être nulle. Le seul avantage qu'on en retirera, ce sera la solidité du travail. Mais, si l'on employait du gravier ou des scories au lieu de pierres cassées, elle pourrait être de 2 ou 3,000 francs ; elle serait plus considérable encore si l'on se contentait d'employer des matières beaucoup plus communes : rien n'empêcherait d'employer toute espèce de substance perméable, par exemple des débris de pierres, gelives ou non.

Pour l'évaluation des dépenses nécessaires à la consolidation d'un talus éboulé, on peut se baser sur les données précédentes ; il n'y a de différence que dans le travail qui consiste dans l'enlèvement des terres éboulées.

Après avoir expliqué les différents procédés propres à assainir les talus et à les consolider, nous croyons utile de donner ici le détail de certains travaux exécutés pour arrêter des glissements de terrains qui se sont produits dans les tranchées de Briol ainsi que sur le remblai argileux de Vendœuvre. C'est l'application de toutes les données précédentes. C'est la pratique faisant suite à la théorie.

Consolidation d'un éboulement à la tranchée de Briol.

Au mois d'octobre dernier, en énumérant les différentes causes des éboulements des tranchées argileuses, je citais en particulier la tranchée de Briol. Je signalais surtout dans cette tranchée la présence de bancs de glissement fort dangereux.

L'hiver vient de se passer presque sans gelée, sans neiges,

et surtout il n'a pas été suivi, comme cela arrive presque toujours, des pluies abondantes qui accompagnent les dégels. Cependant une pluie de deux jours a donné raison à mes prévisions.

Le 10 janvier dernier, il est survenu dans le talus côté gauche de la tranchée de Briel un éboulement assez volumineux dont les croquis fig. 1 indiquent les dispositions.

Il était alors fortement question de livrer la ligne à l'exploitation dans les premiers jours de mars, et l'éboulement se trouvait justement du côté où l'on voulait doubler la voie définitive (fig. 2).

Ma première pensée fut alors de dire que l'on pouvait avantageusement consolider l'éboulement sans qu'on fût obligé de transporter les terres en remblai. Mais le moyen que j'aurais proposé n'était pas de ceux que l'on emploie en pareil cas, je me suis d'abord abstenu dans la crainte de voir mon projet repoussé.

Pourtant, le 15 janvier, je me suis enfin déterminé à présenter sur mon rapport journalier une observation sur l'éboulement de Briel, et je disais qu'il était facile de consolider l'éboulement sans enlever la masse des terres en mouvement. Mon idée ne fut pas approuvée d'abord, et l'entrepreneur reçut l'ordre d'effectuer le déblai de l'éboulement. Mais le 3 février suivant, un ordre de service de M. l'ingénieur en chef prescrivait la consolidation de l'éboulement d'une manière semblable au moyen que j'avais proposé.

Ce travail est terminé aujourd'hui, et je vais essayer de faire une description aussi complète que possible des différentes dispositions qui ont été prises pour l'assainissement et la consolidation des terres éboulées.

J'ai d'abord fait ouvrir simultanément à chaque extrémité de l'éboulement une tranchée de 26^m et de 20^m de longueur dont suivent les profils en travers fig. 3, 4 et 5.

Le déblai de ces tranchées a été employé au revêtement des parties de talus les plus proches de l'éboulement, jusqu'à une distance de 80^m.

On est revenu ensuite aux points E et F (fig. 3) pour achever le déblai des cunettes entre E et G, F et M, afin de découvrir le glacis de l'éboulement sur une longueur de 4 à 5^m environ dans chacune de ces cunettes. Un caniveau d'assainissement a été construit comme l'indiquent les croquis fig. 6 et 7.

Reprenant ensuite le déblai du point G au point H, et du point M au point N (fig. 3), on a de nouveau découvert le glacis, et deux nouveaux caniveaux d'assainissement ont été construits en prolongements des premiers. Les terres provenant de ce déblai ont été transportées entre les points E G et F M (fig. 3).

Continuant le même travail de déblai, de remblai et de construction de caniveaux, on est arrivé à l'extrémité des deux tranchées dont il vient d'être parlé. On a entrepris alors la construction du caniveau en arrière de l'éboulement, entre les pointes R et S (fig. 3).

En raison de la disposition renversée des terres (fig. 2) le déblai devenait plus difficile; aussi a-t-il été fait avec plus de précautions, par parties successives de 3^m de longueur au plus. Les terres de l'éboulement étaient d'ailleurs soutenues au moyen d'un blindage.

Le travail a été fait dans le même ordre que précédemment, c'est-à-dire : 1° fouille pour l'emplacement du caniveau; 2° remblai dans les parties assainies; 3° construction du caniveau d'assainissement.

Le profil fig. 8 donne je crois une idée plus claire de la marche du travail :

Ainsi je suppose la partie A B assainie; on entreprend le déblai du prisme P en commençant par le haut, et les terres

sont transportées en P; de cette manière, tout en profitant de l'avantage d'un transport à faible distance, on vient consolider presque immédiatement le terrain naturel et les terres ébou-
lées, qui toutes tendent nécessairement à tomber dans la petite tranchée ouverte pour la construction du caniveau d'assainissement.

Ce caniveau, construit avec des briques d'assez fortes dimensions, n'étant pas destiné à recueillir seulement les eaux du banc de suintement qui repose sur le glacis, mais bien à recevoir toutes les eaux intérieures du terrain naturel qui se trouvent au-dessus, et, de plus, les eaux de pluies qui s'écouleront entre le terrain naturel et les terres remaniées, il a été nécessaire d'établir entre ces deux terrains un filtre en gravier qui procure un facile écoulement des eaux (fig. 9).

Les eaux intérieures étant recueillies en arrière de l'écoulement, il restait à consolider la masse en mouvement. Pour cela, après avoir assaini bien entendu la partie de talus inférieure au glacis, j'ai fait construire un caniveau d'assainissement C (fig. 9) à 0^m30 au-dessous de la surface supérieure du glacis. J'ai fait placer le caniveau à cette distance du glacis, par cette raison très-importante qu'il n'y a plus lieu de craindre qu'il vienne à être supprimé au cas où les terres se mettraient de nouveau en mouvement.

Ensuite j'ai fait construire un contre-fort D (fig. 9) en terres fortement pilonnées, jusqu'à une hauteur de 2^m. La partie supérieure S ne servant à la résistance qu'à cause de son propre poids a été moins sérieusement pilonnée.

Le règlement du talus éboulé a été ensuite continué comme je le fais pour un talus ordinaire.

Les travaux de consolidation de l'éboulement de Briel sont terminés depuis deux mois. La masse éboulée, qui avançait de 0^m30 par jour pendant la construction du contre-fort, n'a pas fait depuis le moindre mouvement. La tranchée a repris en cet endroit sa forme normale; le chemin latéral a été ré-

tabli; on ne remarque rien d'extraordinaire qu'une dépression de la partie supérieure résultant de la diminution du volume des terres. Il a été dit précédemment qu'une partie des terres de l'éboulement a servi au revêtement des talus de la tranchée.

Quels sont maintenant les avantages que l'on a retirés du mode d'assainissement et de consolidation qui a été employé ? C'est d'abord celui de rendre inutile l'enlèvement des terres éboulées; l'époque à laquelle l'éboulement s'est produit doublait cet avantage. Ensuite la dépense effectuée est incomparablement moins élevée que celle que l'on eût été obligé de faire en effectuant le déblai de l'éboulement.

Les travaux d'assainissement et de consolidation de l'éboulement ont coûté..... 3,097 fr. 00

Voyons ce qu'eût été la dépense dans le cas contraire :

Le volume de l'éboulement étant de 7,600^m cubes, et le prix applicable étant de 2 fr. 40 c., le déblai aurait donc coûté $7,600 \times 2 \text{ fr. } 40 \text{ c.}$ 18,240 fr. 00

Je suppose, ce qui pourtant n'est pas probable, que le volume de l'éboulement n'ait pas augmenté par suite de l'enlèvement des terres,

Il restait encore à assainir le talus de l'excavation. La surface étant d'à peu près 1,000^m cnbes, la dépense aurait été de $1,000 \times 2 \text{ fr. } 00$ 2,000 fr. 00

Dépense totale..... 20,240 fr. 00

Différence..... 17,143 fr. 00

Et comme ce qui est plus concluant, c'est le rapport entre les deux dépenses, on reconnaîtra que la dépense effectuée n'est que le 1/6 de celle qui devait être prévue pour l'enlèvement des terres.

CONSOLIDATION DES REMBLAIS ARGILEUX.

On a sans doute remarqué que, parmi les notes qui précèdent, celles qui ont rapport aux travaux de consolidation des remblais sont bien moins complètes que celles relatives à l'assainissement et à la consolidation des talus des tranchées.

J'insistais moins parce que le moyen que je proposais d'appliquer à la consolidation de tous les éboulements me paraissait trop nouveau. Comme il est d'une grande simplicité, je craignais que l'on crût téméraire de le mettre à exécution lorsqu'il s'agissait des éboulements un peu considérables. J'étais bien convaincu de l'efficacité de mon système, mais, je dois l'avouer, j'attachais moi-même trop peu d'importance à la consolidation des remblais argileux.

Ce qui vient de se passer dans la section de Vendœuvre, peu de jours avant l'inauguration du chemin de fer, tout en donnant raison aux opinions que j'ai émises sur les causes des éboulements, m'a démontré que la consolidation des remblais mérite sérieusement la peine d'être étudiée avec soin.

Remblai de la Villeneuve.

Le remblai de la Villeneuve a été le premier que j'ai reçu l'ordre de consolider sur la ligne de Mulhouse. Pour mieux me faire comprendre, je vais présenter par des croquis les différentes dispositions que la partie de remblai consolidée aujourd'hui a présentées successivement. Je reproduirai la plupart de ceux que j'envoyais toutes les semaines à M. l'ingénieur principal de la quatrième division.

La fig. 10 représente le profil du remblai avant qu'il fût complet.

La fig. 11 le profil du remblai éboulé.

Ainsi que l'indique le croquis fig. 11, la plate-forme du

remblai sur laquelle la voie définitive avait déjà été posée s'est affaissée de 1^m 50 environ.

Au fur et à mesure que la plate-forme baissait, elle était relevée au moyen de terres sablonneuses ; mais ce travail menaçait de n'avoir pas de fin. On était au 1^{er} avril, c'est-à-dire quatorze jours avant l'inauguration du chemin de fer ; la voie n'avait aucune solidité ; dans l'espace d'une nuit, elle s'affaissait de 0^m 30 à 0^m 50, de sorte que la circulation des trains de ballastage était interrompue, et que, conséquemment, la pose définitive de la voie entre la Villeneuve et Vendeuvre n'avancait pas aussi rapidement qu'on l'aurait désiré ; d'un autre côté, l'éboulement menaçait de dépasser la clôture et de s'étendre dans le parc des forges de la Villeneuve.

C'est dans ces circonstances que j'ai été chargé de la consolidation du remblai. Le travail commencé le 1^{er} avril était terminé, sauf les réglemens et autres ouvrages insignifiants, le travail, dis-je, était terminé le 6 avril.

Voici, en peu de mots, la marche qui a été suivie pour arriver à ce résultat.

La fig. 12 reproduit assez exactement le plan de l'éboulement.

Après avoir choisi les meilleurs ouvriers des chantiers, j'ai fait commencer de grand matin le déblai d'une extrémité AB (fig. 12 et 13) de l'éboulement sur 10^m de longueur, comme l'indique le croquis. Ce déblai, qui consistait dans l'enlèvement de 90^m de terres argileuses fluides, présentait assez de difficultés : l'enlèvement et le transport des terres ne pouvaient se faire qu'à la main ; l'usage de la pelle était impossible, tant les terres avaient peu de consistance, tout en conservant une très-grande ténacité.

Au bout de six heures, cependant, on était parvenu à faire l'emplacement d'un contre-fort (fig. 13) ; ce contre-fort a été construit rapidement au moyen des terres argileuses de l'éboulement mélangées avec 1/5 environ de terres sablonneuses (fig. 14).

Le lendemain, toujours dès le matin, on a enlevé la base

de l'éboulement sur une nouvelle longueur de 10 mètres (fig. 15), et le contre-fort de la veille a été prolongé d'une longueur égale (fig. 16).

En continuant de la sorte, le remblai a pu être consolidé sans que la masse éboulée soit descendue de plus de 0^m 50 au point le plus difficile, et pendant tout le cours de l'opération.

L'éboulement étant consolidé, il restait à compléter le talus du remblai fig. 17.

Ce complément a été fait presque aussitôt après l'achèvement des contre-forts. Malgré le poids des terres nouvellement apportées, le contre-fort a résisté à la poussée des terres.

La voie a été remise à sa place, et depuis deux mois la plate-forme du chemin de fer n'a pas éprouvé le moindre affaissement ayant pour cause un mouvement des terres éboulées.

Quelques personnes trop craintives ont pu dire que la consolidation du remblai ne présentait aucune garantie. Des crevasses de 1 à 5 centimètres, produites par la sécheresse ou le tassement des terres sablonneuses rapportées seulement depuis un mois pour compléter le remblai, ont servi de prétexte pour dire que les terres éboulées se remettront plus tard en mouvement.

Remblai de Vendeuve.

M. l'ingénieur d'arrondissement, satisfait sans doute des résultats que j'obtenais au remblai de la Villeneuve, m'a ensuite chargé de consolider un éboulement de 70^m de longueur au remblai de Vendeuve.

Cet éboulement présentait moins de difficultés que le précédent sous le rapport de l'enlèvement des terres ; mais il exigeait plus de précautions et une promptitude plus grande dans l'exécution du travail, et cela en raison de la hauteur du remblai et de la forme de l'éboulement.

En jetant les yeux sur le profil fig. 18, il est facile de concevoir que l'enlèvement d'un volume de terre peu considérable à la base de l'éboulement rompait aussitôt l'équilibre de la masse et qu'en faisant le déblai trop lentement et sur une trop grande longueur, on s'exposait à remettre toute la masse en mouvement, de manière que l'on eût été obligé d'enlever presque toutes les terres éboulées.

Non-seulement le moindre mouvement des terres éboulées nécessitait le déblai d'un volume de terre plus considérable, mais il avait encore l'inconvénient de laisser la voie suspendue pour ainsi dire sur un remblai de 0^m 60 au plus supérieure à la longueur des traverses, et en outre d'empêcher la circulation des voitures sur la déviation de la route impériale (de Paris à Bâle) déjà envahie sur la moitié de sa largeur.

La fig. 19 représente en plan la forme de l'éboulement.

Si l'on avait eu à consolider l'éboulement dans des circonstances ordinaires, voici la marche que j'aurais suivie :

1^o Déblai de base de l'éboulement sur 9 ou 10^m de longueur et simultanément, entre les points AB et IJ; construction de contre-forts dans les emplacements déblayés;

2^o Mêmes opérations, simultanément entre les points BC et HI;

3^o Mêmes opérations, simultanément entre les points CD et GH, et ensuite entre les points DE et GF.

4^o Enfin, déblai de la partie EF et construction de la dernière partie du contre-fort.

Ce mode d'exécution réunit les avantages de temps et d'argent. Il procure une économie de temps parce qu'il permet d'employer un grand nombre d'ouvriers à la fois, et surtout parce qu'il en résulte que le travail se fait sans tâtonnements, que les dimensions des contre-forts peuvent être déterminées à l'avance sans qu'il y ait à craindre que la largeur, la hauteur surtout fussent être modifiées en cours d'exécution.

Il y a encore économie d'argent, par cette raison importante que la masse éboulée ne doit pas pouvoir se remettre en mouvement, ce qui donnerait à la base un volume plus considérable de terre à enlever, et par la même raison formerait au-dessus des terres éboulées en P (fig. 18) un espace plus grand que l'on est toujours obligé de compléter plus tard pour donner au talus une inclinaison convenable.

La marche que je viens d'indiquer n'a pas été tout à fait celle qui a été suivie pour la consolidation du remblai de Venduvre. Comme je l'ai dit précédemment, la déviation de la route impériale était encombrée et il fallait avant tout lui redonner la largeur nécessaire à la circulation des voitures.

J'ai donc été obligé de commencer la construction du contre-fort au milieu même de l'éboulement entre les points CD (fig. 19 et 20). Le travail entrepris de cette manière pouvait présenter de grandes difficultés ; le déblai de l'emplacement du contre-fort a été fait sur une longueur de 8 mètres et une largeur de 10 mètres ; l'équilibre de la masse étant rompu, la masse éboulée s'est remise en mouvement avec une vitesse de 0^m 01 par minute. Mais le déblai poussé avec toute la vigueur possible a permis de commencer le contre-fort et de le monter jusqu'à une hauteur de 0^m 50 au-dessus du glacis, avant que l'éboulement ait avancé de 1^m 20. Alors il n'y avait plus rien à craindre ; le contre-fort suffisait déjà à lui seul à arrêter la masse éboulée. Si la route n'était pas encore déblayée sur toute la longueur de l'éboulement, on était sûr au moins que l'éboulement n'avancerait pas davantage, et il devenait inutile d'occuper des ouvriers à déblayer la base de l'éboulement (fig. 18) pour donner à la route impériale toute la largeur possible. Ce travail, que l'on était obligé de faire avant que je fusse chargé des travaux de consolidation du remblai ne pouvait naturellement aboutir à rien moins qu'à l'enlèvement du volume presque entier de l'éboulement.

Le remblai éboulé avait donc la forme du plan fig. 20.

Il n'aurait pas été prudent de continuer le contre-fort par parties adjacentes, comme cela s'était fait au remblai de la Villeneuve.

Deux fouilles ont été faites simultanément entre les points AB et FG, et deux nouvelles portions de contre-fort ont été établies. Les terres dont on s'est servi pour le pilonnage se composent en partie de celles provenant de la fouille et d'une autre partie à peu près égale à la première, prise cette fois sur la surface de l'éboulement, entre les points EF et BC ; enfin de $1/10$ environ de terre végétale.

En prenant entre les points EF et BC une partie des terres qui sont nécessaires pour la construction des contre-forts AB et FG, j'ai un double but : 1° d'avoir la faculté d'employer un grand nombre d'ouvriers au même contre-fort, de profiter de l'avantage du transport facile et à faible distance. Remarquons encore que les terres prises à la surface de l'éboulement se pilonnent avec beaucoup de facilité, parce qu'elles sont généralement suffisamment sèches et désagrégées par les influences atmosphériques ; 2° la quantité de terres que l'on prend entre les points BC et EF pour la construction des contre-forts AB et FG diminue d'autant le volume des terres à enlever au même endroit pour faire l'emplacement du contre-fort. Seulement, il est à remarquer que le décapement doit être fait sur une grande largeur, de telle sorte que le centre de gravité de la masse soit invariable.

Le contre-fort étant pilonné entre les points AB et FG a été continué entre les points EF et GH ; ensuite on est revenu le construire entre les points DE et HI, et enfin entre B et C.

Quelques jours après l'achèvement du contre-fort, on a complété le talus supérieur du remblai (fig. 21). Le tassement des terres nouvellement apportées a duré une semaine environ seulement ; néanmoins, par mesure de prudence, par crainte peut-être, la voie n'a été remise à sa place que quelque temps après. Depuis cette époque, rien n'a bougé dans les parties consolidées du talus du remblai de Vendevre.

J'ai donc eu raison, je crois, d'affirmer que la consolidation des remblais au moyen de contre-forts est ce qu'il y a de plus simple et de plus économique.

La simplicité est trop évidente pour être jamais contestée sérieusement. Une seule chose présente pourtant quelques difficultés : c'est l'enlèvement des terres éboulées qui doivent faire place au contre-fort ; mais un peu d'habitude doit suffire pour que l'on soit toujours sûr de réussir. Commencer un déblai de grand matin, de manière qu'il soit terminé de bonne heure, afin que le contre-fort soit suffisamment élevé le soir ; exciter par tous les moyens possibles l'activité des ouvriers ; voilà les conditions essentielles du succès.

Si la simplicité des travaux de consolidation des remblais au moyen de contre-forts est incontestable, l'économie ne l'est pas moins. La somme dépensée pour la consolidation d'un éboulement de 80^m de longueur au remblai de La Villeneuve a coûté 1,330 fr. ; elle est de 1,450 fr. pour un éboulement de 70^m de longueur au remblai de Vendevre. Je ne crois pas qu'il existe un moyen de consolider les éboulements de remblais à meilleur marché.

Je ne dirai rien des travaux de consolidation de remblais exécutés avant la production des éboulements ; cet article a été suffisamment expliqué dans le cours de cette note. J'ai fait exécuter des travaux de ce genre au remblai de Vendevre, où des éboulements étaient inévitables, et les résultats que j'ai obtenus sont tout à fait satisfaisants.

DE LA DURÉE DES PONTS EN CHARPENTE.

Un certain nombre de ponts, sur le chemin de St-Germain et sur celui de Versailles (rive droite), avaient été construits en charpente. Ils sont tous aujourd'hui hors d'usage, et on les remplace par des ponts métalliques. La note suivante, que nous devons à l'obligeance de M. Eugène Flachet, n'est que l'histoire des dégradations successives que ces ponts ont subies par suite de la pourriture.

Le pont d'Asnières a été construit en 1836 et livré à l'exploitation en 1837. La charpente (cintres, tympans, longerons et contrevents) était en chêne; les pièces de pont en sapin. Ces dernières n'ont pas duré plus de cinq à six ans.

Le pont a exigé, dès 1847, de très-grandes réparations. Les cintres se trouvaient dans un état de pourriture tel que les arches s'inclinaient en amont ou en aval de 0^m,25 à 0^m,30. On les a ramenées par de forts tirants en fer, et on procédait à la réparation des cintres, lorsque le pont fut incendié en 1848.

Cette rapidité de pourriture des bois a été attribuée à l'énorme charge de balast qui entretenait un état de fraîcheur continuelle. Une autre cause, plus nuisible encore, ce sont les grands boulons reliant les longerons avec les cintres et passant à travers les tympans. Chaque boulon est devenu un conducteur d'eau. Aussi toutes les courbes des cintres se trouvaient-elles pourries à la rencontre des boulons. Mentionnons encore le manque d'air entre les pièces comme une des causes les plus générales du progrès de la pourriture sèche.

Les mêmes inconvénients se sont présentés aux ponts de Châton, construits à la même époque. Il a fallu retirer le

balast et changer entièrement les bois des cintres qui, comme ceux d'Asnières, étaient en chêne. Aujourd'hui, les longerons sont tous mauvais, et ce n'est qu'au moyen d'incessantes réparations que l'on maintient ces ponts dans un état de sécurité.

Pour les ponts d'Asnières et de Chatou, on peut estimer la durée des cintres en charpente de chêne à 10 ans, dans le mode de construction employé. Cette durée peut être facilement portée au double à l'aide des mesures suivantes : isoler les pièces pour laisser l'air circuler autour d'elles ; éviter l'introduction de l'eau dans les points de contact, en couvrant de bois et de bitumé les assemblages et en employant les brides de préférence aux boulons.—Quant au maintien des lignes de construction, il est difficile avec une surcharge en balast qui ne permet pas aux bois de reprendre, par le seul effet de leur élasticité, leur position normale.

Dans les ponts du Pecq, construits en 1846, les cintres, faits de madriers de sapin du Nord, chevillés ensemble, ont été bien goudronnés, et une feuille de papier, également goudronnée, a été intercalée entre chaque madrier. Cet expédient, dont on avait espéré de bons résultats, a été plus nuisible qu'utile. Le manque d'air a fait échauffer les bois à tel point que lorsque l'on a voulu procéder à la réparation des cintres, il a fallu les changer complètement.

Dans la plus grande partie des fermes, il s'était conservé une enveloppe de 2 à 3 centimètres de bon bois à l'extérieur ; mais toute la partie intérieure était réduite en poussière, et les madriers n'étaient maintenus que par la grande quantité de chevilles en chêne qui les reliaient.

C'est en 1857, onze ans après la construction de ces ponts, que le changement des cintres a été opéré.

Aujourd'hui, les cintres des deux ponts du Pecq sont en chêne. Ils se composent de courbes de deux morceaux reliés avec des boulons et des brides, et isolés de manière à laisser

entre chacun d'eux un vide de 15 millimètres, afin que l'air puisse sécher les eaux qui s'introduiraient dans les bois par les fentes ou les points d'assemblage.

Les ponts sur tranchées de la ligne de Versailles ont été construits en 1838 en sapin du Nord. Tous ceux qui n'ont pas été renouvelés sont mauvais. Le plancher demande un entretien continu, plus ou moins grand, selon l'importance du service qu'ils font. Il existait un défaut dans la construction. On avait construit les tables en madriers jointifs; cela a entretenu l'humidité et amené rapidement la pourriture des planchers, qui étaient en madriers de sapin, ce qui est un mauvais système : il faut employer le chêne pour les planchers de ponts.

Ces ponts n'ont duré que sept ou huit ans. Il est à remarquer que ceux dans lesquels les planchers fatiguent le moins pourrissent plus vite. Cela doit tenir au manque de trépidation, qui fait que les eaux ne changent pas de place.

Les longerons se sont mieux conservés. Toutefois, comme ils se trouvent scellés dans les culées, l'humidité et le manque d'air font qu'ils se pourrissent beaucoup plus promptement au scellement qu'eux dans les autres parties. Les ponts de ce genre ne peuvent, tout en prenant les précautions nécessaires, durer qu'une quinzaine d'années. Il faut compter que les planchers seront à renouveler tous les trois ou quatre ans, suivant la fréquence du passage sur le pont.

En résumé, la construction des ponts en bois est encore, pour les chemins de fer, une solution préférable dans beaucoup de cas, à cause de son économie, là où l'économie est une considération dominante.

Mais, pour en assurer la durée, tant sous le rapport de la conservation des bois que de celle des lignes de construction, il ne faut négliger, ni dans l'établissement, ni dans l'entretien, aucune des dispositions dont l'expérience a signalé la nécessité.

Ainsi, pour la conservation des bois, employer le chêne

aussi exclusivement que possible, et le choisir plein et sain ; isoler les pièces de charpente pour en rendre toutes les surfaces, autres que celles des assemblages, accessibles à l'air ; les peindre ou les gondronner, et boucher les fentes à mesure qu'elles se produisent ; couvrir les assemblages avec du bitume d'excellente qualité ; ne traverser ni les bois ni les assemblages d'aucuns boulons, et faire un emploi aussi exclusif que possible de brides.

Pour la conservation des lignes, tout en conservant ou modifiant les rapports actuellement admis entre les dimensions des bois et les charges qu'ils ont à supporter, éviter, par-dessus tout, de rendre ces charges permanentes (sous le prétexte de diminuer les oscillations) par une surcharge de balast, afin de permettre aux bois et aux assemblages de reprendre, par le simple effort de leur élasticité, après le passage des charges, leur position normale de construction.

Outre les inconvénients, pour la charpente, de la surcharge en balast, elle exige des piles très-fortes, en accroissant outre mesure le moment du renversement. Cette surcharge est contraire à toutes les règles de construction.

Dans les conditions que nous venons d'indiquer, les bois des ponts en charpente peuvent durer de dix-huit à vingt ans. Le renouvellement des pièces peut s'y opérer facilement et successivement par un entretien bien conduit, et la durée de l'ouvrage peut devenir ainsi déterminée. Mais l'importance du trafic peut être telle que l'entretien devienne coûteux et que l'économie de premier établissement disparaisse. Les chances d'incendie sont également à prendre en considération. Enfin, l'accroissement continu du poids du matériel des chemins de fer est un fait auquel il faut donner une part.

Ce sont ces dernières considérations qui font rejeter les ponts en bois pour les grandes lignes dans les pays où, comme la France, la différence de dépenses de premier établissement est, pour les charpentes, dans le rapport de 1 à 4,5 ; elles ont donc une grande importance.

NOTICE

SUR LA CONSTRUCTION D'UN PONT

SUR LA MOSELLE A LONGEVILLE-LEZ-METZ,

Pour l'établissement du chemin de fer de Metz à Thionville.

M. FRÉCOT, Ingénieur en chef.

Description générale.

Le chemin de fer de Metz à Thionville, après s'être détaché de la voie ferrée de Nancy à Metz, à quatre kilomètres en amont de cette dernière ville, traverse la vallée de la Moselle du sud-est au nord, entre les villages de Montigny et de Longeville-lez-Metz. Cette traversée a nécessité des remblais assez considérables, et un ouvrage d'art important sur la Moselle désigné sous le nom de *pont de Longeville*.

Position
géographique
du pont.

Le pont de Longeville est entièrement en pierres; il comprend huit grandes arches en ellipse de 20^m,60 d'ouverture chacune sur la Moselle, et deux petites en plein cintre, de 4 mètres, réservées dans les culées; la première pour le passage du chemin de halage, et la seconde pour la traversée d'un chemin d'exploitation.

Genre
de construction,
forme
et dimensions
principales.

L'ouverture totale des grandes et des petites arches est de 172^m,80; la longueur de tout l'ouvrage, y compris les vides et les pleins, de 210^m,40; la hauteur moyenne du pont, au-dessus de l'étiage, est de 9^m,10; celle de la construction, depuis la partie inférieure des fondations jusqu'à l'arête supérieure du garde-corps, de 14^m,20, et la surface totale de l'élévation, vides et pleins confondus, de 2,987^{me},68.

La largeur d'une tête à l'autre est au sommet, non compris les avant-corps, de 8^m,56, et le passage libre entre les garde-corps de 7^m,96 (dessin n° 1).

Hauteur moyenne. La hauteur moyenne de cette construction est ainsi composée :

Massif de béton pour fondations.....	3 ^m ,83
Socle des piles.....	0 75
Fût des piles.....	0 60
Montée de la voûte.....	5 80
Epaisseur de la voûte.....	1 40
Epaisseur du balast.....	0 77
Saillie de la tablette du couronnement sur le balast.....	0 05
Garde-corps.....	1 00
Hauteur totale.....	14^m,20

Débouché. La section du débouché à l'étiage est de.. 165^m,00

Celle au-dessus de l'étiage jusqu'à la hauteur de la crue de 1844, de..... 535 00

Et la section totale, depuis le fond de la rivière jusqu'à la hauteur des grandes eaux de 1844, de..... 700 00

Profil longitudinal.

Les diverses parties de cet ouvrage, depuis le socle jusqu'au couronnement, suivent la pente du chemin de fer, dont la déclivité sur le pont est de 0,0022 par mètre, et de 0,46 en totalité.

Piles.

Les piles, au nombre de sept, reposent sur des massifs isolés en béton, de 13^m,50 de longueur, 6^m,00 de largeur et 3^m,83 de hauteur. Chacune d'elles comporte un socle en pierre de taille à parements verticaux, de 0^m,75 de hauteur, et un fût de 0^m,60 d'élévation, à parements, avec fruit de

0^m,0363. Les dimensions des piles sont indiquées sur les dessins nos 1, 2, 3 et 4 et dans le tableau ci-après :

		LONGUEURS	LARGEURS.	HAUTEURS.
Socle.....	Bas du socle....	7 40	3 44	0 75
	Haut du socle..		3 04	
Fût.....	Bas du fût.....		2 84	0 60
	Haut du fût.....		2 80	

Les piles sont terminées, en amont et en aval, par des avant et arrière-becs circulaires, s'élevant contre les têtes jusqu'à 1^m,25 au-dessus des grandes eaux, en face de la pile du milieu.

Avant et arrière-becs.

Chaque avant ou arrière-bec se compose :

1^o D'un socle à parements verticaux, de 0^m,75 de hauteur, 3^m,44 et 3^m,04 de largeur, faisant suite à celui des piles;

2^o D'un fût, de 3^m,35 de hauteur, 2^m,84 d'épaisseur à la base, et 2^m,60 en haut, avec un fruit de 0,0363 sur le parement ;

3^o D'un couronnement de 0^m,75 de hauteur en saillie de 0,25 sur la partie supérieure du fût, et terminée par un demi-cône dont une petite partie est dissimulée par les contre-forts des tympans (dessin n^o 4).

Les culées reposent chacune sur deux massifs de béton, séparés par un remblai en gravier correspondant aux vides des arches latérales. Le premier, celui vers la rivière, à 13^m,80 de longueur, et 6^m,00 de largeur ; sa hauteur est de 4^m,00 sous le parement, est de 6^m,00 à l'intérieur. Le second, vers

Culées.

le remblai, a $13^{\text{m}},80$ de longueur, $2^{\text{m}},30$ de largeur et $2^{\text{m}},15$ de hauteur moyenne.

Chaque culée comprend une demi-pile, avec avant et arrière-becs, vers la rivière, de $1^{\text{m}},40$ d'épaisseur à la naissance des voûtes, et un corps carré vers les terres, ayant, y compris le vide des arches latérales, $8^{\text{m}},50$ d'épaisseur sur l'axe du chemin de fer, et $11^{\text{m}},50$ aux deux têtes.

Avant-corps.

Les têtes des culées forment, sur $10^{\text{m}},00$ de longueur, des avant-corps dont la saillie générale sur le reste de l'ouvrage est de $1^{\text{m}},18$ sous le couronnement.

Pilastres
des culées.

Les avant-corps sont accusés par deux pilastres de $2^{\text{m}},00$ de largeur, se détachant des têtes des culées par une saillie de $0^{\text{m}},40$.

Massifs
des fondations.

Les massifs de béton qui supportent les piles et les parties des culées, vers la rivière, reposent sur les marnes feuilletées du lias à une profondeur moyenne de $4^{\text{m}},00$ sous l'étiage. Ceux sous les parties des culées, vers les terres, sont établis sur les talus graveleux des fouilles (dessin n° 3).

Ces massifs sont compris dans des enceintes en vannages, composés de panneaux en planches brutes clouées horizontalement l'une au-dessus de l'autre, sur les traverses, et maintenus entre deux files de pieux (dessins n°s 6, 7, 8 et 9). Ils sont consolidés et protégés à l'extérieur, contre les affouillements, par des enrochements qu'on a échoués derrière les vannages au fur et à mesure de l'immersion du béton.

Chaque massif présente, au pourtour des socles, un empiètement de $1^{\text{m}},28$ de largeur qui, en donnant de la stabilité aux fondations, a servi à l'établissement des batardeaux dont on a eu besoin pour l'exécution des maçonneries sous l'eau.

Voûtes.

Les voûtes ont $20^{\text{m}},60$ d'ouverture, $25^{\text{m}},82$ de douelle et $7^{\text{m}},40$ de longueur d'une tête à l'autre; leur intrados est formé de deux quarts d'ellipse, se raccordant à la clef et présentant, à leur naissance, une différence de niveau de $0^{\text{m}},05$

donnée par la pente du chemin de fer sur le pont. Ces deux portions d'ellipse ont pour grand axe l'ouverture de l'arche, et pour montées $5^m,77$ et $5^m,82$. L'épaisseur est de $2^m,80$ aux naissances, $3^m,20$ aux reins et $1^m,40$ à la clef. L'extrados présente un arc de cercle de $26^m,70$ de rayon et un développement de $24^m,21$.

Les voûtes sont recouvertes d'une chape de $0^m,10$ d'épaisseur, comprenant une première couche de béton de $0^m,85$, et une seconde en mortier de ciment de $0^m,015$.

Chaque tête de voûte est formée de 63 voussoirs ayant, à l'exception de la clef, de $0^m,40$ à $0^m,43$ d'épaisseur à l'intrados; et alternativement 80 et 60 centimètres de longueur en douelle. Leur hauteur, sur le parement des têtes, vario de $0^m,00$ à $1^m,50$ pour les six premiers, et de $1^m,50$ à $1^m,10$ pour les autres.

La clef a $1^m,40$ de hauteur, $0^m,55$ d'épaisseur et $1^m,05$ de longueur; elle saillit de 8 centimètres sur les autres voussoirs.

Les arches latérales, réservées dans les culées, ont $4^m,00$ de largeur à égale distance des deux pilastres; les hauteurs des pieds-droits, y compris le socle, sont de $3^m,55$ pour l'arche de halage, et de $2^m,75$ pour celle de la rive opposée. Les voûtes sont en plein cintre, de $2^m,00$ de rayon; elles ont $6^m,28$ de douelle et $9^m,76$ de longueur d'une tête à l'autre; l'épaisseur est de $1^m,50$ aux naissances, et de $0^m,67$ à la clef. Les dessins nos 1, 2, 3 et 5 indiquent l'appareil.

Arches latérales.

Les eaux pluviales s'écoulent sous les voûtes par des tuyaux en fonte de $0^m,10$ de diamètre, descendant verticalement, suivant l'axe des piles, et débouchant un peu au-dessus du socle. Sur l'ouverture supérieure de chaque tuyau est placée une calotte en forte tôle, percée de trous et environnée de moellons permettant l'écoulement de l'eau.

Écoulement
des eaux.

Les vides des tympans, compris entre la chape et le balast, sont occupés par du gravier. L'épaisseur générale des murs

Tympans.

des tympans est de 1^m,18, depuis les reins jusqu'à la frise, et de 0^m,90 au-dessus.

Des contre-forts extérieurs, de 0^m,40 d'épaisseur, de 2^m,00 de largeur en face des piles, et 1^m,00 en face des culées, sont établis au-dessus des avant et arrière-becs jusqu'au-dessous de la tablette de couronnement, et divisent le parement des têtes en autant de parties qu'il y a d'arches.

Les tympans de chaque voûte sont accusés sur les têtes par des parties triangulaires en maçonnerie de parement de petit échantillon, encadrés par trois plate-bandes en pierre de taille, de 0^m,30 de largeur, régnant, la première, au pourtour de l'extrados des voûtes; la seconde, le long des contre-forts des piles, et la troisième, sous la frise.

Couronnement.

Le couronnement est formé d'une plinthe, de 0^m,27 d'épaisseur et 0^m,70 de largeur, reposant sur une frise de 0^m,55 de hauteur.

La frise est dentelée au-dessus des voûtes par des consoles dont la saillie, sur le parement des têtes, est la même que celle des contre-forts des piles; elle est plate sur le reste de l'ouvrage. Les consoles sont au nombre de 31 par arche, ont 0^m,226 de largeur, et sont distantes l'une de l'autre de 0^m,45. Deux filets de 0^m,05 de hauteur et 0^m,04 de saillie, encadrent les diverses parties de la frise sur toute la longueur du pont. Un troisième filet, de mêmes dimensions, existe au-dessous de chaque console, dans le bandeau supérieur des tympans.

La plinthe présente, à sa partie inférieure, un chanfrein de 0^m,05 de rayon, et, à sa partie supérieure, un chanfrein de 0^m,03 de hauteur sur 0^m,15 de largeur; sa saillie est de 0^m,17 sur les parties les plus avancées de la frise, et de 0^m,61 sur le plan des têtes.

Parapets
et garde-corps.

Les piles et les culées sont surmontées, les premières, de dés en pierre de taille, de 2^m,00 de largeur, 1^m,22 de hauteur

et 0^m,42 d'épaisseur au socle, et les secondes, de parapets également en pierres de mêmes dimensions.

Le reste de l'ouvrage est terminé par un garde-corps ogival, en fonte, de 1^m,08 de hauteur, pesant 37 kilogrammes le mètre courant.

Les dés et les parapets sont posés en retraite de 0^m,18 sur l'arête de la plinthe.

Les garde-corps sont scellés en soufre et ciment dans la plinthe, en retraite de 0^m,30 de l'arête.

Les culées sont arrêtées vers les terres par des murs en ailes normaux, à l'axe du rail-way, de 1^m,50 d'épaisseur, se raccordant avec les talus du chemin de fer, depuis la plinthe jusqu'aux plates-formes des digues de garantie établies en amont et en aval du pont.

Murs en ailes
et escaliers.

Des escaliers de 1^m,00 de largeur de marche, avec deux limons de 0^m,30 d'épaisseur dans le plan des talus, forment le couronnement rampant des murs en ailes.

Des garde-corps en fer, de 0^m,80 de hauteur, scellés dans les couronnements des murs en ailes, à 0^m,15 de l'arête et dans les parements extrêmes des parapets du pont, séparent les escaliers de cet ouvrage (dessin n° 4).

Les socles, fûts des piles, avant et arrière-becs, voussoirs de tôtes, pilastres et angles des culées, angles des contre-forts et plate-bandes des tympans, frise, plinthe, parapets des avant-corps, dés, marches et limons des escaliers, sont en pierre de taille, avec refends sur les parements de face des voûtes des arches latérales et des pilastres.

Nature et taille
des parements.

Les autres parements vus sont en moellons piqués, sans ciselure, de 0^m,18 à 0^m,22 d'épaisseur pour les voûtes, et en moellons d'échantillon, de 0^m,11 à 0^m,14 d'épaisseur, taillés en bossage, avec ciselure pour les tympans et les murs en ailes.

Les parements en moellons sont en retraite sur la pierre de taille, de 0^m,03 dans les tympans, et de 0^m,02 dans les piles, les voûtes et les murs en ailes.

OUVRAGES PROVISOIRES POUR L'EXÉCUTION DES TRAVAUX.

La construction du pont a nécessité divers ouvrages provisoires de charpente, dont les plus importants sont les cintres et les ponts de service.

Les cintres qui ont servi à la construction des grandes voûtes sont indiqués en coupe et élévation dans la figure 3 de la planche 1^{re}, et en plan, coupe et élévation longitudinales dans les dessins nos 10, 11 et 12.

Cintres.

Ces cintres étaient supportés, pour chaque arche, par quatre semelles reposant, les deux extrêmes, sur les massifs de fondation et les deux intermédiaires sur des palées. Les premières étaient simplement pesées sur le béton, dans l'intérieur des batardeaux, au niveau de l'étiage, et les deux autres étaient assemblées à tenons et mortaises sur les têtes des pieux des palées, à une hauteur moyenne de 2^m,25 au-dessus de l'étiage.

Chaque palée comprenait six pieux ronds, de 8^m,00 de longueur, 0^m,35 de diamètre et 4^m,00 de fiche, dont 2^m,25 dans le gravier, et 1^m,75 dans les marnes feuilletées du lias.

Tous les pieux ont été battus avec un mouton du poids de 550 kilogrammes, au moyen d'une sonnette à tirandes. Ils ont été enfoncés à un refus relatif de 0^m,008 à 0^m,01 par volée de trente coups, le mouton tombant librement de 2^m,50 de hauteur.

Chaque ferme comprenait un extrait en deux morceaux reliés par deux boulons, un cours de veaux, dix pièces de différentes longueurs assemblées en éventails dans les veaux et dans l'entrait au-dessus de chaque pièce, et enfin quatre

contre-fiches supportant les extrémités de l'entrait et des éventails.

Les deux éventails étaient rendus solidaires l'un de l'autre, à 1^m,90 au-dessus de l'entrait, au moyen de deux moises de 0^m,26 de hauteur sur 0^m,15 d'épaisseur, boulonnées à leur rencontre avec chaque pièce.

Les dispositions et les dimensions de ces diverses pièces sont indiquées dans les dessins 10, 11 et 12.

Les entrails de l'arche marinière, celle par laquelle tous les bateaux passaient pendant la construction du pont, étaient supprimés entre les deux palées et remplacés par deux moises de 0^m,34 sur 0^m,17 d'équarrissage, reliant ensemble les diverses pièces des éventails à 4^m,50 au-dessus de l'étiage. Cette modification n'a fait qu'améliorer la stabilité du cintre (dessin n° 10).

Quatre paires de coins en chêne dur, de 0^m,30 d'épaisseur au gros bout et 0^m,10 au petit, séparaient chaque ferme des semelles et servaient au décintrement.

Chaque arche était supportée par six fermes, reliées entre elles par deux croix de Saint-André, par des planches clouées horizontalement sur les entrails et par les couchis.

Dans la prévision d'un tassement des maçonneries sur les cintres pendant la construction des voûtes et lors du décintrement, les fermes présentaient sur la courbe de douelle des voûtes une surélévation à la clef, de 0^m,03 aux têtes, de 0^m,05 sur l'axe, et se réduisant à 0^m,00 aux reins.

Les couchis avaient 0^m,10 de largeur sur 0^m,25 de hauteur; ils étaient séparés l'un de l'autre de 0^m,05, et entaillés sur les têtes de 0^m,025 pour loger les saillies de la pierre de taille.

Les huit voûtes ayant été exécutées simultanément, il a fallu construire des cintres pour toutes.

Dix fermes semblables à celle représentée en coupe et élévation dans le dessin n° 10, reposant sur trois semelles de 0^m,25 sur 0^m,10 d'équarrissage et 10^m,00 de longueur, ont servi à la construction des voûtes latérales.

Trois paires de coins par ferme, ayant chacun 0^m20 d'épaisseur ont servi au décintrement des voûtes.

Les couchis étaient jointifs et étaient composés de planches refendues en deux, ayant 0^m,025 d'épaisseur.

Deux ponts de service ont été établis sur la Moselle pour l'exécution des travaux : un immédiatement en amont des arches pour le passage des ouvriers et le transport du mortier, et un autre à 5^m,27 au-dessus de l'intrados des voûtes pour le levage et le bardage des matériaux.

Le premier, élevé généralement à 2^m50 au-dessus de l'étiage, était composé de trois cours de longerons, de 0^m18 à 0^m20 d'équarrissage, reposant sur le prolongement des semelles intermédiaires des cintres, et d'un plancher de 4^m de largeur, en dosses ou madriers bruts, de 3 à 4 centimètres d'épaisseur, cloués transversalement sur les longerons. Une partie de ce pont est représentée en plan et en coupe dans les dessins nos 11 et 12.

Sa longueur était de.....	190 ^m
Le cube des longerons était de.....	20
Et la surface du plancher de.....	760 ^{mc}

Le pont de service, exécuté pour le levage et le bardage des matériaux, comprenait :

1° Deux cours de longrines, distantes l'une de l'autre de 5^m50 d'axe en axe, et régnant d'une extrémité à l'autre des culéos ;

2° 38 fermes supportant les longrines ;

3° 37 traverses assemblées dans les longrines pour en maintenir l'écartement ;

4° 19 croix de Saint-André contreventant les fermes deux à deux.

Les diverses pièces formant un même cours de longrines étaient assemblées à trait de Jupiter au-dessus de chaque ferme.

Une bandode fer, de 0^m06 de largeur sur 0^m02 d'épaisseur, était vissée sur le milieu de chaque longrine pour recevoir les roues des chariots employés au levage et au bardage des pierres.

Chaque ferme comprenait un poinçon reposant sur les piles ou sur les couchis des cintres, deux arbalétriers reliés par des moises et deux contre-fiches.

Les traverses roliaient les longrines à chaque ferme et au milieu de l'intervalle de deux fermes consécutives.

Les croix de Saint-André étaient composées de deux pièces assemblées, à leurs extrémités, dans les poinçons des fermes, et, au milieu, sur un tasseau.

Les dispositions et les dimensions des diverses parties de ce pont de service sont indiquées sur les dessins n^{os} 10, 11 et 12.

Sa longueur totale était de.....	215 mètres.
Le cube de bois employé, de.....	135 mètr. c.
Et le poids du fer, de.....	2,500 kilogram.

Nature des matériaux.

Les pieux et vannages, pour fondations, sont en sapin des Vosges. Bois.

Tous les bois employés dans la construction des ouvrages provisoires étaient également en sapin des Vosges, à l'exception des coins des cintres, qui étaient en chêne.

La pierre de taille provient des meilleures carrières de cal- Pierre de taille.

caire jaune oolithique de Jaumont, à 20 kilomètres de Longeville; elle pèse 2,200 kilogrammes le mètre cube et peut supporter, avec sécurité, un poids de 18 kilogrammes par centimètre carré de section transversale.

Moellons
de parement.

Les moellons de parement sont de même nature et proviennent des mêmes carrières que la pierre de taille.

Moellons p^r pen-
dants intérieurs
de voûtes et
remplissage or-
dinaire.

Ces matériaux ont été pris dans les carrières de roche jaune des côtes de la rive gauche de la Moselle, à une distance moyenne de 12 kilomètres du pont.

La résistance de ces moellons peut être évaluée, en toute sécurité, à 30 kilogrammes par centimètre carré de section transversale.

Les pendants intérieurs des voûtes ont été choisis parmi les blocs les plus beaux et les plus durs; ils ont été débrutés au marteau; ils avaient de 0^m30 à 0^m40 de largeur et de 0^m10 à 0^m15 d'épaisseur.

Chaux.

La chaux employée pour toute la construction du pont était hydraulique; elle a été prise aux environs de Metz, au lieu dit la Planchette, à 10 kilomètres du pont, dans les bancs calcaires du lias; sa cuisson a eu lieu à la houille, généralement à feu continu.

Cette chaux renferme :

Silice (18 p. 0/0).....	0 ^m 18	} 1 ^m 00
Chaux carbonatée (82 p. 0/0).....	0 ^m 82	

La chaux a été généralement éteinte en pâte dans des bassins en planches abrités.

Sable.

Le sable employé provient des alluvions de la Moselle; il est siliceux et exempt de toute matière terreuse, il a été pris, en totalité, dans les dragages des fondations du pont.

Cailloux
pour bétons.

Les cailloux employés dans les bétons proviennent également des alluvions de la Moselle; ils ont été trouvés dans les dragages des fondations du pont.

Il a été employé trois espèces de mortier. La première, qui a servi à la confection des bétons et des maçonneries de remplissage, comprenait 0^m90 de sable moyen et 0^m50 de chaux éteinte en pâte, représentant 0^m33 de chaux vive.

Mortier.

La deuxième, qui a servi à la maçonnerie de pierre de taille, était composée de 0^m45 de sable fin, 0^m45 de ciment fin de tuileau, et 0^m50 de chaux éteinte en pâte.

La troisième, employée pour la maçonnerie de parement, comprenait 0^m60 de sable fin, 0^m30 de ciment moyen et 0^m50 de chaux éteinte en pâte.

A l'exception des couches supérieures des culées, pour lesquelles le béton a été posé à sec, le reste a été immergé.

Béton.

Le béton posé à sec a été ainsi composé :

Chaux en pâte.....	0 ^m 250
Sable.....	0 475
Cailloux.....	0 750
Total.....	1^m 475

Que l'on a admis, se réduire à..... 1^m00

Le béton immergé était ainsi composé :

Chaux en pâte.....	0 ^m 30
Sable.....	0 53
Cailloux.....	0 71
Total.....	1^m 54

Que l'on a admis se réduire à..... 1^m00

Les maçonneries au niveau inférieur des piles, le béton, à la partie supérieure des massifs de fondation, et le terrain sur lequel repose tout l'ouvrage, supportent, par centimètre

Pression
des matériaux.

carré de base, les poids respectifs de 5^k 52, 2^k 95 et 2^k 76, déterminés dans le tableau ci-après :

INDICATION DES SECTIONS pressées.	SURFACE DES SECTIONS pressées.	NATURE DES QUANTITÉS supportées.	QUANTITÉS	POIDS DE L'UNITÉ des quantités supportées.	POIDS SUPPORTÉS.	
					par section.	par centi- mètre carré.
Section hori- zontale des piles com- pris les a- vant et ar- rière-becs à la partie inférieure du fût.....	96m² 96 23	Maçonneries des piles, voûtes, a- vant et ar- rière-becs, tympans, plinthes et dés.....	513m 82	2,200 00	1,150,404 00	4 ^k 19
		Chape.....	10 91	1,900 00	90,729 00	0 08
		Sable et bal- last.....	200 17	1,600 00	331,678 68	1 34
		Garde-corps en fonte....	43 16	48 00	2,071 90	0 007
					1,487,876 68	5 517
Surface su- périeure des massifs de béton en ne comptant que sur un empâtement de 0,50 au pourtour des socles. 11,84 X 4,44	32m² 56 96	Maçonneries des piles, voûtes, a- vant et ar- rière-becs, tympans, plinthes, dés, chape, sable, bal- last et gar- de-corps comme ci- dessus....			1,487,876 68	2 ^k 83
		Maçonnerie du socle....	2,500 00	2,500 00	65,000 00	0 12
					1,550,876 68	2 95
Surface de terrain sur laquelle re- posent les massifs de fondations. 13,30 X 6,90	81m² 00 00	Maçonnerie, chape, sa- ble, bal- last et gar- de-corps, com- me ci-des- sus.....			1,550,876 68	1 ^k 92
		Béton.....	310 25	2,200 00	682,506 00	0 84
					2,233,382 68	2 76

RÉSUMÉ

DES QUANTITÉS D'OUVRAGES DU PONT DE LONGEVILLE-LEZ-METZ

ET ESTIMATION DES DÉPENSES.

fact, the β -phase is the only one that is stable at room temperature. The α -phase is stable only at high temperatures, and the γ -phase is stable only at low temperatures. The β -phase is the only one that is stable at room temperature.

Two-point

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	QUANTITÉS		PRIX de l'UNITÉ.
	TOTALES.	PAR MÈTRE CARRÉ d'élévation, vides et pleins confondus.	
§ 1 ^{er} . — Fondations.	La surface en élévation des fondations, vides		
TERRASSEMENTS.			
Déblais à sec	4,953 ^{mc} 00	6 14	0 67
Draguages (non-compris 5,838 ^{mc} 26 de sable et de cailloux qui ont été employés dans les mortiers et les bétons et qui ont été cédés aux entrepre- neurs pour la main-d'œuvre d'extraction).....	7,625 55	15 15 9 01	1 64
VANNAGES ET BATARDEAUX.			
Bois pour pieux en 1 ^{er} emploi.....	69 ^{mc} 62	0 08	53 00
Id. en 2 ^e emploi	2 15	0 002	15 00
Lattis en sapin reliant les vannages.....	247 ^{ml} 00	0 30	0 45
Tableaux en planches de sapin.....	3,191 ^{mq} 00	3 06	1 50
Fers pour sabots de pieux	625 00	0 77	1 00
Frappe et recôpage des pieux	"	"	"
Terrassements et entretien des batardeaux.....	"	"	"
BÉTON.			
Béton posé à sec.....	528 16	0 65	10 30
Béton immergé.....	3,288 36	4 08	13 80
Ciment employé dans le béton	46 00	0 05	20 00
Pont de service pour l'immersion du béton	"	"	"
ENROCHEMENTS.			
Enrochements au pourtour du béton.....	4,600 ^{mc} 00		4 60
OUVRAGES DIVERS.			
Epuisements	"	"	"
Eclairage et sauvetage.....	"	"	"
Draguage de béton et enlèvement de vannages avariés par les crues.....	"	"	"
Dépense totale pour les fondations.....			

DÉPENSES				OBSERVATIONS.
PARTIELLES	TOTALES	PARTIELLES.	TOTALES.	
du pont.		par mètre carré d'élévation.		
et pleins contondus, est de $210^m50 \times 3^m85 = 805^m985$				
3,318 51		4 11		Le prix moyen du mètre cube des déblais et dragages des feuilles est de $\frac{15.821\ 13}{12.576\ 55}$ soit 1 fr. 25 c.
	13,821 13		19 65	
12,502 62		15 52		
2,436 70		3 02		Cette dépense comprend : 1° 2,383 ^m 00 de vannages extérieurs à 3 fr. 01 c. l'un. 2° 613 ^m 63 de batardeaux de 0.80 d'épaisseur à 3 fr. 85 l'un.
32 25	2,468 95	0 04		
111 15		0 13		
4,786 50	10,141 44	5 94	12 56	
625 03		0 77		
1,033 57		1 30		
1,096 27		1 36		
5,440 03		6 74		
45,379 37	50,819 42	56 30	64 80	
920 00	52,239 42	1 14		
500 00		0 62		
21,160 00	21,160 00		26 26	
1,649 75		2 04		
199 54	4,039 29	0 23	3 00	
2,2' 0 00		2 73		
.....	105,401 28		128 25	

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	QUANTITÉS		PRIX de L'UNITÉ.
	TOTALES.	PAR MÈTRE CARRÉ d'élévation, vides et pleins confondus.	
La surface d'élévation vides et pleins			
5 2. — Élévation.			
1 ^{re} MAÇONNERIES.			
Maçonnerie en pierre de taille.....	4,314 ^m 48	0 00	37 10
— " en moellons de parement piqués non eiselés.....	483 74	0 22	24 60
Maçonnerie en moellons eiselés et échantillonnés ..	439 24	0 00	30 60
— de moellons pour pendants de voûtes..	2,191 81	1 00	13 32
— de moellons de remplissage.....	4,025 19	0 47	11 10
Ciment employé dans cette dernière maçonnerie....	"	"	"
Taille du parement vu de la pierre de taille.....	3,470 70	1 59	5 00
Rejointement du parement vu des maçonneries...	5,234 38	2 40	0 80
Chape en béton et ciment.....	4,096 00	0 50	2 85
Enduit en ciment derrière les murs des tympans...	947 30	0 42	0 65
2 ^o OUVRAGES DIVERS.			
Tuyaux en fonte pour l'écoulement des eaux tombant sur les chapes.....	"	"	"
Garde-corps en fonte au-dessus des arches du pont.	15,891 75	7 28	0 45
Goujons pour le scellement de ce garde-corps.....	678 60	0 31	1 00
Pose, y compris la fourniture du soufre et du ciment.	345 30	0 16	5 00
Fer pour les rampes des escaliers.....	500 ^k 00	0 22	0 80
Maçonnerie de perrés avec mortiers sous la enlève vers Montigny.....	28 ^m 00	0 01	4 90
Maçonnerie à pierres sèches en moellons épinés....	130 00	0 05	4 30
Pavage en pavés calcaires sous les arches latérales.	161 50	0 07	3 60
Enrochements au-dessus des égouttoirs des voûtes.	30 ^m 00	0 01	4 60
Chargement des voûtes avant la pose des chapes...	4,020 00	0 74	1 08
A reporter.....			

DÉPENSES				OBSERVATIONS.
PARTIELLES	TOTALES	PARTIELLES.	TOTALES.	
du pont.		par mètre carré d'élévation.		
confondus, est de $210^m40^c \times 10.37 = 2,181^m485$.				
48,767 21		22 85		Dans le cube général de la maçonnerie : La pierre de taille entre pour les 35/100 Les moellons de parement p^r les 42/100 Les moellons de rempliss. p^r les 65/100 1.00 Le nombre de mètres carrés de taille par mèt. cube de maçonnerie de pierre de taille est de..... 2^mc64 Le prix moyen d'un mètre cube de maçonnerie, y compris la taille, le rejointoiement et les enduits, est de 25^m27^c.
11,900 00		5 50		
4,260 71	105,910 85	1 95		
29,633 27		13 36		
11,579 61		5 21	60 81	
	529 99	0 24		
	17,353 51	7 86		
	4,187 50	1 92		
	3,120 75	1 45		
	596 28	0 27		
	233 85	0 10		
	7,151 29	3 29		
	678 60	0 31		
	1,796 50	0 78		
	400 00	0 18		
	137 20	0 06		
	540 00	0 25		
	801 40	0 26	6 00	
	138 00	0 06		
	1,749 00	0 80		
	145,070 61		66 90	

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	QUANTITÉS		PRIX de L'UNITÉ.
	TOTALES.	PAR MÈTRE CARRÉ d'élévation, vides et pleins confondus.	
<i>Report</i>			
3° CINTRES ET PONTS DE SERVICE.			
CINTRES DES GRANDES VOÛTES.			
Charpentes en sapin en 1 ^{er} emploi.....	562 ^m c 58	0 25 }	35 00
Charpente en bois de chêne.....	7 ^m c 63	0 403 }	90 00
Fers pour sabots de pieux.....	945 ^k 00	0 45	1 00
Boulons et étriers pour l'assemblage des cintres pour 1 ^{er} emploi.....	1,638 ^k 00	0 75	0 50
Frappe et arrachage des pieux.....	"	"	"
Chargement des cintres avec des moellons destinés à la construction des voûtes.....	800 ^m c 00	0 37	0 40
Cintres des voûtes latérales.....	121 30	0 06	3 00
Pont de service pour le levage et le bardage des matériaux.....	"	"	"
4 ^e Dépenses sur prix convenu pour divers petits ouvrages, boissons et gratifications données aux ouvriers pendant l'exécution des travaux.....	"	"	"
Dépense totale de l'élévation.....			

RÉCAPI

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	SURFACES d'élévation, vides et pleins confondus.
Fondations.....	805 ^m c 83
Élévation.....	2,181 85
Ensemble.....	2,987 68

DÉPENSES				OBSERVATIONS.
PARTIELLES	TOTALES	PARTIELLES.	TOTALES.	
du pont.		par mètre carré d'élévation.		
.....	145,070 64		66 90	
19,090 30		9 02		
686 70		0 31		
945 00		0 43		
819 00	26,193 00	0 38	12 00	La dépense par mètre carré de douelle pour les cintres des grandes voûtes est de $\frac{25,825\ 00}{1,520\ m^2} = 16\ fr.\ 80.$
3,561 83		1 54		
382 40		0 15		
367 77		0 17		
"	15,000 0		6 88	La dépense du pont de service est par mètre cube de maçonnerie, de $\frac{15,000\ 00}{5,454\ 46} = 2\ fr.\ 91.$
"	825 11		0 78	
.....	187,086 73		86 16	

TOTALISATION.

DÉPENSES		OBSERVATIONS.
TOTALES.	par mètre carré d'élévation.	
106,000 00	131 54	Le décompte final de cet ouvrage compté par les entrepreneurs s'élève, rabais déduit, à la somme totale de 297,000 francs, ainsi que l'indiquent les chiffres ci-contre.
191,000 00	87 54	
297,000 00	99 41	

Mode d'exécution et appareils employés.

Déblais
et dragage des
fouilles.

Les fouilles étaient, jusque sur le lias, entièrement dans les alluvions modernes de la Moselle; leur hauteur variait de 5^m50 à 6^m50 sur les rives et de 3 à 4 mètres dans la rivière; elles présentaient des talus à 45° dans les parties à sec, et de 3 à 5 de base pour 1 de hauteur dans les portions sous l'eau.

Les déblais à sec ont été enlevés à la bêche et à la pelle.

Ceux sous l'eau ont été extraits avec des dragues à main jusqu'à 1^m75 de profondeur; la partie inférieure a été enlevée au moyen de dragues à treuils établies sur des pontons et des barques.

Vannages.

Les pieux extérieurs des vannages étaient enfoncés de 0^m80 à 1 mètre dans les marnes du lias au moyen d'une petite sonnette à tirandes supportée par un ponton et pourvue d'un mouton pesant 150 kil. Ce travail a été généralement exécuté par une brigade de sept hommes, y compris l'arrimeur, et n'a jamais demandé plus de trois jours par enceinte.

L'assemblage des chapeaux sur les têtes de ces pieux s'est fait à tenons et mortaises, au fur et à mesure de la frappe.

Les pieux intérieurs, plus faibles que les premiers, ont été enfoncés simplement à la mailloche, au fur et à mesure de la pose des panneaux.

Les panneaux étaient assemblés sur place, au fur et à mesure de leur enfoncement dans les fouilles.

Pour faciliter l'immersion du béton et l'établissement des maçonneries de soubassement, les vannages étaient élevés jusqu'à 2 mètres au-dessus de l'étiage. Ils ont été recépés pendant les basses eaux de l'hiver 1853 et 1854, à 0^m30 au-dessous de la partie supérieure du socle.

La manipulation des mortiers avait lieu mécaniquement, à l'aide de quatre manéges accolés deux à deux sur chaque rive, et à peu près semblables à tous ceux qu'on emploie aujourd'hui sur les grands travaux publics.

Fabrication
des mortiers.

Chacun de ces manéges était mû par deux chevaux se relayant de deux en deux heures, et alimenté par trois ouvriers employés au chargement, au transport et au dosage des matières; ils pouvaient produire 2 mètres cubes de mortier par heure.

Le dosage et le transport des matières se faisaient au moyen de brouettes d'une capacité de 0^m06.

Le dosage du béton se faisait, comme pour le mortier, au moyen de brouettes d'une capacité de 0^m06 de mètre cube.

Manipulation,
transport
et immersion
du béton.

Il se fabriquait sur des aires en planches, sous des hangars couverts, à bras d'hommes, à l'aide de pelles et de griffes à trois dents.

Le temps employé par un ouvrier au lavage des cailloux, à la charge, au transport et à l'épandage, ainsi qu'au mélange des matières d'un mètre cube de béton, a été de six heures.

Le mortier et les cailloux étaient à 15 mètres des hangars à béton.

Le transport du béton s'est fait à la brouette, sur de grands madriers de roulage, en sapin, supportés par de petits pieux, reliés par un chapeau, ou sur des pontons.

L'immersion s'est effectuée au moyen de caisses demi-circulaires, à claire-voie, d'une capacité de 0^m10, mues par des treuils à grosses dragues. Ces treuils, placés au-dessus des fouilles, reposaient sur des échafaudages établis en chevrons et madriers, sur les chapeaux des vannages.

Le temps employé par un ouvrier à la charge au lieu de fabrication, au transport et à la décharge sur les échafaudages des piles, et à la reprise et à la charge dans les caisses, ainsi

qu'à l'immersion d'un mètre cube de béton, a été de 3 heures 36 minutes.

Ce procédé permettait d'employer six treuils à l'immersion, et de descendre dans les fouilles 10 mètres cubes de béton par heure.

Les hangars à béton étaient placés le plus près possible des culées et à 110 mètres des piles les plus éloignées.

La distance moyenne de transport du béton était de 50 mètres.

Immersion
des enrochements
au pourtour
des vannages.

Les enrochements qui protègent les massifs de fondation ont été échoués au moyen de bateaux, la moitié environ pendant l'immersion du béton pour empêcher le renversement des vannages, et le reste au fur et à mesure des affouillements produits sous les arches par les crues.

Batardeaux
et épaissements.

Les maçonneries sous l'eau ont été établies à sec au moyen de batardeaux et d'épassements.

Les batardeaux étaient en terre glaise; ils reposaient sur le béton à l'extérieur contre les vannages des piles, et à l'intérieur vers les maçonneries, contre un second petit vannage établi dans le béton. Ces batardeaux avaient 0^m80 d'épaisseur et généralement 1^m80 de hauteur. (Dessins nos 6 et 8.)

Les épassements ont eu lieu à la hollandaise.

La hauteur moyenne de l'eau dans la rivière, pendant la pose des socles, a été de 1^m50 au-dessus du béton.

Les dépenses réunies de ces deux ouvrages ont été en moyenne de 300 fr. par pile et culée, soit 2,700 fr. pour tout le pont.

Chantier
de dépôts des
approvision-
nements.

Le sable et les cailloux employés dans les mortiers et les bétons provenaient exclusivement des fouilles du pont. Ces matériaux étaient, au fur et à mesure de leur extraction, passés à la clef sur les rives et amenés à proximité des manèges et hangars à béton.

La chaux était amenée journallement vive du four auprès des manéges, où elle était disposée dans des hangars couverts et éteinte immédiatement pour être employée le lendemain.

Los difficultés d'arrivages avec des voitures fortement chargées à proximité des travaux et sur les rives de la Moselle, à plus de 2 kilomètres en amont et en aval du pont, ont engagé les entrepreneurs à établir sur le port de Vaux leurs dépôts de pierre de taille et de moellons pour maçonnerie, perrés et enrochements.

Le port de Vaux, spacieux et commode, est situé à 4 kilomètres en amont du pont de Longeville et à proximité des carrières, d'une bonne route et de la rivière.

Les bois pour cintres et ponts de service étaient approvisionnés et ont été confectionnés dans l'île du Saulcy, près de Metz, à 3 kilomètres des travaux.

Le mortier était transporté des manéges sur l'ouvrage à dos d'homme avec des volets.

Bardage
des matériaux
employés pour
les maçonneries.

La pierre et les moellons étaient amenés par eau des chantiers de dépôt auprès du pont, sur des bateaux pourvus de plates-formes établies sur leurs bords. Ces matériaux étaient ensuite repris et conduits au lieu d'emploi, à bras d'homme, sur des plans inclinés, ou avec deux treuils supportés par des chariots roulant longitudinalement sur le chemin de fer établi au-dessus des voûtes.

Un de ces appareils est représenté en élévation dans les dessins nos 10 et 12.

Ces chariots étaient terminés à leur partie supérieure par des longrines recouvertes de bandes de fer, sur lesquelles roulaient les treuils d'une tête à l'autre du pont.

Chaque treuil était pourvu d'une grosse corde à l'extrémité de laquelle était une louvo pour accrocher soit les morceaux de pierre de taille, soit les caisses rectangulaires en bois employées au bardage des moellons.

Ce dernier mode de bardage était beaucoup plus économique que le premier ; mais le retard apporté dans la pose du pont de service n'a permis de l'employer que pour les maçonneries au-dessus du sixième voussoir des grandes voûtes.

Autorisation, ordre et durée d'exécution des travaux.

Décisions
ministérielles
autorisant
la construction
du pont.

La construction des sept premières arches sur la Moselle et des deux arches latérales du pont de Longeville a été autorisée par décision ministérielle du 5 octobre 1852; une nouvelle décision du 31 mars suivant a prescrit l'exécution d'une huitième arche.

Ordre et durée
d'exécution
des travaux.

Les déblais des fouilles ont été commencés le 1^{er} septembre 1852, et, immédiatement après l'autorisation ministérielle du 5 octobre de la même année, on immergeait le béton dans la première pile.

A partir de cette dernière époque jusqu'à celle de l'achèvement des fondations autorisées, les déblais et draguages des fouilles, la pose des vannages, la fabrication et l'immersion du béton, ainsi que l'échouage des enrochements, ont été menés nuit et jour avec la plus grande activité; aussi, malgré la grande hauteur d'eau continuelle à laquelle il fallait travailler, et cinq crues de 2 à 3 mètres au-dessus de l'étiage qui sont venues, chaque fois, désorganiser les chantiers, remplir de sable des fouilles draguées, et même avarier du béton et renverser des vannages déjà posés, tous les massifs de fondations étaient terminés le 11 février 1853, c'est-à-dire après cinq mois de travaux pénibles et laborieux.

Les maçonneries de soubassement ont été achevées le 13 mai suivant.

Les draguages, le bétonnage et les maçonneries de soubassement nécessités par la huitième arche ont été commencés dans les premiers jours d'avril et finis le 25 mai 1853.

Les cintres et les ponts provisoires en charpente pour le service des travaux ont été achevés le 15 juillet 1853.

Toutes les voûtes ont été fermées et décintrées aux époques indiquées dans le tableau ci-après.

Le même tableau indique le tassement des maçonneries après le décintrement de chaque voûte et sous la charge permanente qu'elles doivent supporter.

INDICATION DES VOUTES.	ÉPOQUE de la FERMETURE.	ÉPOQUE du DÉCINTRE- MENT.	TASSEMENT OPÉRÉ APRÈS LE DÉCINTREMENT				TASSEMENT TOTAL	
			sans charge sur les voûtes		avec le remblai et le ballast sur les voûtes.	sur les voussoirs de têtes.	sur les voussoirs de têtes.	sur le moellon.
			sur les voussoirs de têtes.	sur le moellon.				
Passage dans la culée, côté de Montigny.	15 juin 1853	25 juin 1853	0 00	» »	» »	0 000	0 000	» »
1 ^{re} Arche, côté de Montigny.....	22 juill. 1853	17 août 1853	0 02	0 045	0 02	0 04	0 065	» »
2 ^e Arche id.	31 juill. 1853	22 août 1853	0 018	0 03	0 018	0 036	0 048	» »
3 ^e Arche id.	3 août 1853	26 août 1853	0 017	0 02	0 03	0 047	0 05	» »
4 ^e Arche id.	6 août 1853	29 août 1853	0 024	0 04	0 022	0 046	0 062	» »
5 ^e Arche id.	13 août 1853	5 sept. 1853	9 016	0 028	0 045	0 033	0 045	» »
6 ^e Arche id.	18 août 1853	10 sept. 1853	0 014	0 02	0 02	0 034	0 04	» »
7 ^e Arche id.	24 août 1853	16 sept. 1853	0 023	0 034	0 02	0 043	0 054	» »
8 ^e Arche id.	26 août 1853	22 sept. 1853	0 012	0 045	0 02	0 032	0 065	» »
Passage dans la culée, côté de Longeville..	3 août 1853	10 août 1853	0 003	» »	» »	0 003	» »	» »

Les chapes ont été commencées le 26 septembre et terminées le 12 novembre suivant. Au 24 du même mois, il ne restait plus, pour compléter le pont, qu'à poser la plinthe des septième et huitième arches et tout le parapet. Ces derniers ouvrages n'ont été terminés que le 11 avril 1854.

Mais si l'on se reporte au tableau qui précède, on verra, par les époques de décintrement des voûtes, qu'il était possible, sans aucune difficulté, d'avancer l'achèvement des chapes d'au moins un mois et d'avoir terminé la pose des parapets pour le 1^{er} novembre.

En résumé, malgré l'approbation tardive d'une partie des projets et les nombreuses crues qui ont chaque fois désorganisé les chantiers, le pont de Longeville a été exécuté en quatorze mois.

NOTES

SUR LES VIADUCS DES VALLÉES DE LA GOELTZSCH ET DE L'ELSTER.

Les viaducs de la Gœltzsch et de l'Elster, en Saxe, sont les deux plus grands viaducs en pierre construits pour le passage d'une voie ferrée. Nous avons pensé qu'on ne lirait pas sans intérêt les détails suivants, sur ces ouvrages d'art si remarquables, et cependant si peu connus en France.

HISTORIQUE DES DEUX PONTS.

C'est en 1836 que, sur les instances d'un comité formé à Leipzig, une convention internationale fut conclue entre la Saxe et la Bavière, pour déterminer le tracé d'un chemin de fer à construire entre les deux pays. Ce chemin devait passer à Reichenbach et Plauen, les deux villes les plus importantes du Voigtland ou dans leur voisinage, et être continué jusqu'à la frontière saxo-bavaroise pour rejoindre la ligne ferrée qui traverse la Bavière du sud au nord.

La direction ainsi déterminée, on avait à passer les vallées de la Raumbach, de la Gœltzsch, de la Trieb et de l'Elster. La Raumbach se jetant dans la Gœltzsch et la Trieb dans l'Elster, on pouvait éviter les passages des vallées de ces deux cours d'eau en choisissant le tracé en aval de leurs confluents.

La rail de la gare de Reichenbach du chemin de fer de Leipzig à Reichenbach se trouve à la cote de 290^m,05, celui de la gare de Leipzig étant pris pour zéro; la vallée de la Gœltzsch est à 182^m,44, par rapport au même point, tandis que le col qui partage les eaux entre la Gœltzsch et l'Elster, se trouve à la cote 333^m,31. De ces données, il résulte que le

fond de la vallée de la Gœltzsch est de 107^m,61 en contre-bas du point de partage des eaux entre la Gœltzsch et l'Elster. Le chemin devait donc être en pente de Reichenbach vers la Gœltzsch, et en rampe de ce point vers le col qui sépare cette vallée de celle de l'Elster. Le maximum de pente admissible ayant été fixé à 0^m,01, il fallait un développement de 10,800 mètres pour venir de Reichenbach au fond de la vallée de la Gœltzsch, et 15,100 autres mètres pour venir de là au col de partage des eaux. Le terrain, pour la première partie, ne se prêtait pas à un développement de voies aussi considérable, au moins dans la limite des rayons admissibles; dans la deuxième partie, un tracé pareil était possible, mais présentait de grandes difficultés. Une construction rationnelle ne permettait guère de donner plus de 2,800 à 3,000 mètres de longueur à la première partie, et 5,700 à 6,000 mètres à la seconde. Admettant ces longueurs avec la pente 0^m,01, on restait à 79 mètres au-dessus du fond de la Gœltzsch, et on pouvait franchir le col de partage avec une tranchée de 11 à 12 mètres de profondeur. Si on avait voulu porter à 0^m,02 la pente maxima admissible, on serait arrivé à 53 ou 55 mètres au-dessus du fond de la vallée de la Gœltzsch, mais, par contre, on aurait dû franchir le col par une longue tranchée de 22 ou 23 mètres de profondeur, et d'une exécution difficile et dispendieuse.

Après avoir déterminé avec soin le point le plus favorable pour le passage de la vallée de la Gœltzsch, on devait naturellement aussi songer aux voies et moyens à employer; on s'arrêta au projet d'un pont fixe en maçonnerie, présentant plus de sécurité et plus d'économie qu'un plan incliné, ou un remblai dont la base minima aurait dû être portée à 300 ou 350 mètres, et aurait, par conséquent, exigé des voûtes de partage ayant cette longueur.

M. Wilké, alors ingénieur en chef, présenta, en 1844, un projet basé sur les considérations que je viens d'exposer. La hardiesse de ce projet étonna le public et les autorités. Le comité et le Gouvernement firent alors appel aux lumières

des constructeurs les plus expérimentés. Des ingénieurs belges et bavares furent consultés et après avoir examiné les localités, ils furent tous de l'avis qu'un pont fixe serait le moyen le plus rationnel, le plus simple et le plus économique de traverser la vallée de la Gœltzsch.

Le projet du pont ayant été mis au concours, quatre-vingt-un concurrents se présentèrent. La commission du concours n'accorda point de prix entier : elle donna deux prix, chacun de 1,125 francs, et deux autres, chacun de 750 francs. A la suite de ce concours, la construction du viaduc avec piles en maçonnerie et arcades en pleins cintres, fut décidée.

Les travaux de fondation du viaduc de la vallée de la Gœltzsch furent commencés en automne 1845; la première pierre fut solennellement posée le 31 mai 1846, jour de l'ouverture de la section de Werdun à Reichenbach, partie du chemin de fer de Leipzig à cette dernière localité.

A cette époque, on avait trouvé un fond solide sur roc pour y fonder 14 piles; le même résultat fut obtenu pour les autres, à l'exception, toutefois, pour une seule, celle qui devait se trouver vis-à-vis de la pile où la première pierre avait été posée. A l'emplacement de cette pile, on avait rencontré à 5^m,10 au-dessous du sol, un banc de schiste argileux et alunifère, paraissant présenter la solidité nécessaire pour y établir la fondation; mais après quelques jours d'exposition à l'action de l'atmosphère, les schistes se réduisirent en une masse boueuse. On chercha donc plus bas, et un sondage fit reconnaître le rocher solide à 25^m,50 de profondeur. Toutes les autres piles ayant été fondées sur rocher, tandis que pour celle-ci, il se trouvait tellement bas, qu'il fallait recourir à une fondation sur béton ou sur pilotis, faisant craindre des tassements inégaux par rapport aux autres piles. Pour obvier à cet inconvénient, M. Wilké, ingénieur en chef des travaux, proposa de supprimer cette pile, de renforcer les deux voisines, et de construire sur le cours de la Gœltzsch une arcade de 30^m,59 d'ouverture.

Cette proposition provoqua de nouvelles craintes au sein du comité et de nouvelles discussions dans la Chambre de 1847. La Chambre pria le Gouvernement de faire faire de nouvelles études pour voir si la vallée de la Gœltzsch ne pouvait être plus convenablement franchie par tout autre moyen qu'un pont fixe. Le Gouvernement chargea des ingénieurs étrangers à ces études, et ceux-ci se prononcèrent encore en faveur d'un pont fixe, en réduisant, toutefois, la hauteur du projet primitif d'environ 1 mètre, et la longueur d'environ 85 mètres, mais en conservant la grande arche centrale et les piles renforcées (piles culées) proposées par M. Wilké.

Pour le viaduc de la vallée de l'Elster, on adopta également une grande arche centrale, quoique le fond de la vallée, composée de brèche ou de conglomerats, fût partout solide. La première pierre de ce viaduc fut posée le 7 novembre 1846.

En 1848 et en 1849, les travaux furent ralentis, mais ne furent jamais complètement interrompus. Le viaduc de la Gœltzsch arriva en 1849 à la moitié de sa hauteur, et le 29 septembre de cette année, on forma la voûte de la grande arche du milieu. La clef de la voûte supérieure fut posée le 14 septembre 1850, et les deux viaducs furent livrés à la circulation le 15 juin 1851.

Au moment de la plus grande activité des travaux, il y avait 1,500 ouvriers au viaduc de la Gœltzsch et 800 à celui de l'Elster.

Les deux viaducs ont été exécutés sous la direction supérieure de M. Wilké, alors ingénieur en chef, ayant sous ses ordres pour celui de la Gœltzsch, M. F. Dost, ingénieur, chargé de la direction et de la conduite des travaux, et M. Kell, ingénieur, chargé des mêmes soins pour celui de l'Elster.

VIADUC DE LA VALLÉE DE L'ELSTER.

Ce viaduc, d'une longueur de 278^m73, a pour hauteur maxima au-dessus du lit de l'Elster 68^m06, et pour largeur entre les parapets 7^m 93. Il est formé de deux étages, dont l'inférieur a 167^m 12 de longueur et 34^m 56 de hauteur, et le supérieur 278^m 73 de longueur sur 33^m 50 de hauteur.

Viaduc de la vallée
de l'Elster.

L'étage inférieur comporte cinq piliers, dont quatre couplés de manière à former deux piles doubles entre lesquels se trouve le lit de la rivière. La pile simple sur la rive droite (côté de Reichenbach) et la double sur la rive gauche (côté de Plauen) servent de culées et sont reliées aux talus de la vallée par des maçonneries en moellons.

En comprenant les têtes d'amont et d'aval, les piles inférieures ont à la hauteur du sol 33^m34 de largeur, qui se réduit à la hauteur du socle à 21^m45; les épaisseurs correspondantes à ces hauteurs sont 8^m21 et 7^m93. La partie inférieure de ces piles est en granit, la partie supérieure en maçonnerie de briques. La partie en granit a 20^m96 de largeur au point où commence la maçonnerie en briques qui forme retraite et ne conserve que 16^m99 au point où elle repose sur le granit. La largeur à la hauteur du couronnement se réduit à 16^m28. L'épaisseur correspondante aux deux hauteurs est la même, c'est-à-dire 6^m67. La hauteur du socle dans les deux piles intérieures est de 6^m23, dans l'extérieure du côté de Plauen de 3^m36, et dans son opposée de 1^m13. Les deux arches comprises dans l'étage inférieur sont surhaussées; celle entre les piles couplées a 28^m46 d'ouverture à la naissance de la voûte et

17^m84 de flèche, l'autre à 26^m62 d'ouverture à la même hauteur et 16^m71 de flèche. Les arches surbaissées entre les piles couplées ont 7^m08 d'ouverture et 1^m69 de flèche; les arceaux ont 5^m38 de largeur.

L'étage supérieur est composé : 1° de quatre piles couplées correspondantes aux inférieures; 2° de trois piles simples, dont l'une repose sur celle de l'étage inférieur, tandis que les deux autres sont fondées sur les talus de la vallée et en contre-bas du couronnement de l'étage inférieur; et 3° enfin, de deux culées, dont celle de gauche (côté de Plauen) comporte une voûte de passage de 11^m33, et celle de droite une voûte de 8^m50, blindée par une maçonnerie en moellons et masquée en partie par le quart de cône. La culée gauche se prolonge par un mur de soutènement de 113 mètres de longueur. L'étage comporte donc six grandes arcades, de plus les voûtes dans les culées et les ouvertures entre les piles doubles.— L'arcade entre les piles couplées a 31^m16 d'ouverture à la naissance de la voûte et 18^m94 de flèche; chacune des cinq autres arcades a 28^m89 d'ouverture, avec 17^m84 de flèche.

Les piliers simples, de même que les doubles, ont 6^m80 d'épaisseur au pied du socle; cette épaisseur, à la hauteur de la plinthe, se réduit à 5^m10 dans les piles doubles et à 4^m53 dans les piles simples. Les piliers intérieurs (vers la rivière) des culées ont 6^m95 d'épaisseur à la base du socle et 4^m25 sous la plinthe; les piliers extérieurs des culées ont pour largeurs correspondantes 4^m81 et 4^m25.

La largeur des piles doubles est à la base du socle 12^m32, sous la plinthe 10^m90; celle des piles simples, aux mêmes points, est de 10^m48 et de 9^m60; celle des piliers intérieurs des culées, aux mêmes points, est de 9^m71 et de 9^m66, tandis que celle des piliers extérieurs des culées est la même de 8^m50 pour chacun des deux points.

Les matériaux de construction employés à l'étage inférieur sont : 1° le granit pour les fondations, les socles, les dalles de recouvrement, et pour la partie inférieure des piliers jusqu'à

la première retraite au-dessus des arceaux inférieurs, de 7^m08 de largeur; de plus, pour les cordons et la garniture extérieure des couronnements des piles; 2^e la maçonnerie en moellons pour les culées et pour le corps des couronnements; et 3^e la maçonnerie en briques pour tout le restant, les piles, les voûtes et la maçonnerie complémentaire.

Dans l'étage supérieur, le granit a été employé pour les socles, les pendants de voûte, les dalles de recouvrement, les cordons et les plinthes; les moellons ont servi à la fondation des culées et à la construction des voûtes qui les traversent; de plus, aux piliers extérieurs des culées et au socle des intérieures. Le restant de la maçonnerie est également en briques.

Les parapets sont formés de la plinthe en granit servant de base de 0^m47 de hauteur et de 0^m85 de largeur; elle est surmontée d'une maçonnerie en briques de 1^m06 de hauteur et de 0^m28 d'épaisseur, couverte elle-même de dalles en granit de 0^m19 d'épaisseur; la hauteur totale est donc de 1^m72.

Pour pouvoir observer plus facilement toutes les parties du viaduc, de même que pour faciliter les réparations qui pourraient devenir nécessaires, les piles ont reçu des passages à la hauteur de l'étage et dans le sens de l'axe du pont; de plus, on a pratiqué trois ouvertures superposées au-dessus de ces passages. Ces ouvertures, servant à économiser la maçonnerie, ont 1^m70 de largeur, ont des voûtes elliptiques. Les entrées sont masquées par des écussons placés de 0^m14 en retraite du parement de la maçonnerie et permettant en même temps une aération.

Le cube total de la maçonnerie de ce viaduc est de 62,497^m3 9, savoir :

1^o Maçonnerie en granit, y compris 1,278 stères de

dalles.....	21,548 ^{m3}	3
2 ^o Maçonnerie en briques, comprenant 12,323,294 briques.....	30,019	5
3 ^o Maçonnerie en moellons.....	10,930	1
Total égal.....	62,497 ^{m3}	9

On a employé à la fabrication des ciments et mortiers nécessaires :

Chaux.....	47,665 hectolitres.
Sable.....	9,120 mètres cubes.
Schistes et tuiles pilées.....	2,462 —

Le granit a été extrait de divers endroits du Voigtland supérieur, principalement des carrières de Brambach, d'Auerbach, de Schreiersgrün, de Tannebergsthal et de Trieb. Les carrières de Kirchenlamitz, en Bavière, ont fourni les pendants de voûte de l'étage supérieur. — Les moellons ont été pris dans les carrières de psammite et de schistes argileux de Jössnitz, de Liebau, de Trieb et de Pfaffengrün. — Les briques ont été fournies par les tuileries de MM. Gross et Hiller, à Herlasgrün, à Jössnitz et à Hasselbrunn.

Les tableaux suivants résument les résultats des expériences faites sur la résistance de ces divers matériaux de construction.

EXPÉRIENCES

Entreprises pour déterminer la résistance à l'écrasement de quelques matériaux de construction destinés aux viaducs de la Goeltzsch et de l'Elster.

NATURE des MATÉRIAUX.	LIEUX D'EXTRACTION.	DIMENSION des ÉCHANTILLONS soumis aux expériences.			RÉSISTANCE MOYENNE en kilogrammes par centimètre carré.	NOMBRE d'expériences.	OBSERVATIONS.
		Long.	Larg.	Haut.			
		mèt.	mèt.	mèt.			
Grès	Windischleuba, près Altenbourg...	58	58	58	220.9	7	écrasé.
Grès	Rudersdorf, près Eisenberg	29	29	58	325.2	2	écrasé.
Grès	Treben, près Altenbourg..	58	58	58	122.1	12	écrasé. Les voussoirs des arches supérieures du viaduc de la Goeltzsch sont de cette pierre.
Grès.....	Pirma.....	58	58	58	302.5	9	écrasé.
Grès	Eisenberg.....	58	58	58	325.2	4	écrasé.
Grès	St-Gangloff...	58	58	58	302.1	3	non écrasé.
Grès	Mansdorf.....	58	58	58	302.9	4	non écrasé.
Grès	Même carrière.	58	58	58	355.4	2	écrasé.
Grès	Serbitz, près Altenbourg..	58	58	58	122.1	4	écrasé.
Grès rouge.	Berga, près Weidu.....	71	71	71	142.5	8	écrasé.
Grès rouge.	Rochlitz.....	58	58	58	196.8	7	écrasé.
Schiste argileux	Mislareuth.....	47	58	58	482	1	écrasé, posé sur tôle.
Schiste argileux		23	23	47	776.7	3	écrasé, posé sur son lit de carrière.
Schiste argileux.....	Triebersdorf..	58	26	58	642.9	1	écrasé.
Schiste micacé.....	des environs de Waldenbourg	58	58	58	270.0	4	écrasé.
Granit à grain fin..	Schreiersgrün.	23	23	23	1257.4	1	écrasé.
Granit avec cristaux de Feldspath plus grands	Schreiersgrün.	29	41	47	441.3	3	écrasé.
Granit.....	Brambach.....	47	47	47	363.1	1	écrasé.
Briques fa-	légèrement cuites.....	58	58	58	135.8	72	écrasées.
briquées à la main.....	cuisson moyenne.....	58	58	58	185.3	72	écrasées.
	fortement cuites	58	58	58	282.8	72	écrasées.

RÉSULTATS

DES EXPÉRIENCES FAITES POUR DÉTERMINER LA RÉSISTANCE A L'ÉCRASEMENT DES BRIQUES FABRIQUÉES PAR PROCÉDÉS MÉCANIQUES.

DEGRÉ DE CRUISE DES BRIQUES FABRIQUÉES PAR PROCÉDÉS MÉCANIQUES.	DIMENSION DES BRIQUES en millimètres.			POIDS EN GRAMMES à l'état		POIDS EN KILOGRAMMES par centimètre carré produisant à l'état			
	Longueur.	Largeur.	Épaisseur.	Sèche.	Humide après 24 heures d'immersion dans l'eau.	Sèche		Humide.	
						la 1 ^{re} fois.	l'écrasement.	la 1 ^{re} fois.	l'écrasement.
Faible....	283.2	139.2	67.2	4395	5095	25.1	41.9	30.9	33.5
Moyenne...	278.5	136.8	67.2	4395	5001	41.9	83.8	63.8	71.2
Forte....	276.1	134.5	66.0	4380	5001	41.9	104.8	100.6	167.6

Les expériences ayant démontré la grande supériorité des briques fabriquées à la main sur celles fabriquées par procédés mécaniques, on a décidé que ces dernières ne pourraient servir que dans les maçonneries de remplissage des piles.

Les deux séries d'expériences précédentes ont été principalement entreprises pour déterminer la résistance des matériaux qu'on pensait pouvoir utiliser à la construction du viaduc de la Goeltzsch; les suivantes avaient plus particulièrement en vue les matériaux pour le viaduc de l'Elster.

EXPÉRIENCES

ENTREPRISES POUR DÉTERMINER LA RÉSISTANCE DU GRANIT DE BRAMBACH
(DANS LE VOIGTLAND SUPÉRIEUR)
EMPLOYÉ A LA CONSTRUCTION DU VIADUC DE L'ELSTER.

N ^{OS} D'ORDRE.	DIMENSIONS DES CUBES ESSAYÉS.			PRESSION EN KILOGRAMMES par centimètre carré qui a produit		COULEUR des ÉCHANTILLONS.	OBSERVATIONS.
	Longueur.	Largeur.	Hauteur.	la 1 ^{re} fente.	l'écrase- ment.		
	m. m.	m. m.	m. m.				
1	0.47	0.47	0.47	377.3	377.3	blanchâtre.	Après un léger pétilllement, la pierre s'est fendue et brusquement écrasée.
2	0.47	0.47	0.47	251.4	251.4	jaunâtre.	Les angles n'étaient pas complets, la pièce s'est lentement écrasée après la première fente.
3	0.47	0.47	0.47	»	461.0	d'un jaune plus foncé.	L'échantillon était moins complet que le n ^o 2. Il s'est brusquement écrasé après la première fente.

EXPÉRIENCES

ENTREPRISES POUR DÉTERMINER LA QUANTITÉ D'EAU
QU'ABSORBENT LES BRIQUES APRÈS 24 HEURES D'IMMERSION DANS L'EAU.
(BRIQUES FABRIQUÉES A LA MAIN.)

TUILIERIES — NOMS des PROPRIÉTAIRES et des LOCALITÉS.	1 ^{re} CLASSE. BRIQUES FORTEMENT CUITES.			2 ^e CLASSE. BRIQUES DE CUISSON MOYENNE.			3 ^e CLASSE. BRIQUES FAIBLEMENT CUITES.		
	POIDS A L'ÉTAT		Augmentation par 100.	POIDS A L'ÉTAT		Augmentation par 100.	POIDS A L'ÉTAT		Augmentation par 100.
	Sec.	Hu- mide.		Sec.	Hu- mide.		Sec.	Hu- mide.	
	Grammes.			Grammes.			Grammes.		
GROSS à HEIDENREICH	4066	4627	15.8	4066	4721	16.1	3973	4721	18.5
	4153	4627	12.5	4066	4721	14.9	4020	4674	16.5
	4160	4627	12.4	4066	4009	14.1	3879	4674	20.5
	Moyenne...		12.9	Moyenne...		15.0	Moyenne...		18.5
HILLER à HERLASGRUN	4413	4534	10.2	4020	4627	15.1	4066	4767	17.3
	3879	4594	15.2	4020	4627	15.1	4020	4721	17.4
	3879	4500	10.8	3973	4580	15.3	4020	4674	16.3
	Moyenne...		11.4	Moyenne...		15.2	Moyenne...		17.0
HILLER à JÖSSNITZ.	4020	4580	14.0	4020	4767	18.6	3879	4627	19.3
	4066	4580	12.6	4020	4767	18.6	3926	4627	17.2
	4160	4580	10.1	4066	4767	17.2	3926	4721	16.1
	Moyenne...		12.2	Moyenne...		18.2	Moyenne...		17.8

EXPERIENCES

**ENTREPRISES POUR DÉTERMINER LA RÉSISTANCE A L'ÉCRASEMENT
DES BRIQUES FABRIQUÉES A LA MAIN
QU'ON PENSAIT DEVOIR EMPLOYER AU VIADUC DE L'ÉLSTER.**

TUILERIES. — NOMS des PROPRIÉTAIRES et des LOCALITÉS.		PRESSION MOYENNE EN KILOGRAMMES PAR CENTIMÈTRE CARRÉ.				RÉSISTANCE MOYENNE de toutes les expériences.	OBSERVATIONS.
		LA CUISSON A EU LIEU					
		en 1856.	13 octob. 1857.	12 mai 1857.	en 1858.		
HILLER	I	139	146	319	305	210.0	La classe I représente les briques fortement cuites, la classe II celles de cuisson moyenne, et la classe III celles faiblement cuites.
à	II	218	157	294	179	212.0	
JÜSSNITZ.	III	78	142	98	117	116.2	
HILLER	I	258	295	351	362	311.5	
à	II	326	189	329	343	296.7	
HERLASGRÜN.	III	275	199	170	273	229.2	
GROSS	I	296	237	360	346	309.7	
à	II	245	275	275	172	250.2	
HASSELBRUNN	III	154	151	100	115	125.0	

PRESSIONS

EXERCÉES SUR DIFFÉRENTES PARTIES DU VIADUC DE L'ELSTER.
RAPPORT DE SÉCURITÉ ET TASSEMENTS OBSERVÉS.

INDICATION DES PARTIES DU VIADUC POUR LESQUELLES LA PRESSION A ÉTÉ CALCULÉE.	Pression en kilogrammes par centimètre carré.	Rapport de sécurité.	Tassements observés.
		fois.	millimèt.
Fondations de la pile sur la rive droite de l'Elster.....	9.81	37	»
Rangée inférieure de briques de la même pile.	9.80	23	»
Rangée inférieure de briques de la pile extrême sur la rive droite.....	9.81	23	»
A la hauteur du premier étage, pile de milieu sur la rive droite.....	8.47	27	»
A la même hauteur, pile extrême du même côté.	9.61	24	»
A la naissance de la route de l'arche supérieure de 31 ^m .46 (granit).....	7.33	34	57.1
Au même point dans les autres arches supérieures de 28 ^m .89.....	6.77	34	63.7
Au même point dans l'arche centralo inférieure de 28.46 d'ouverture.....	6.01	38	111.6
Au même point dans l'arche inférieure latérale de 26 ^m .62.....	5.51	42	112.6

Le rapport de sécurité a été calculé dans la supposition que la résistance moyenne des briques est de 230^k5 et celle du granit de 360^k5 par centimètre carré.

La pression calculée se produit sur le granit à la naissance des voûtes supérieures, et sur des briques à celles des voûtes inférieures.

La maçonnerie complémentaire à l'extrados des arches est massive jusqu'à 45 degrés, et le reste forme cellules. Les parties vides de la maçonnerie cellulaire ont suffisamment de

penne pour conduire les eaux de pluies vers les gargouilles pratiquées dans les tympans des voûtes. Des trappes fermées de dalles massives permettent d'arriver de la voie dans les cellules, dont l'assèchement est facilité par un aérage. Un pavage en briques de 0^m07 d'épaisseur, solidement jointoyées avec du ciment, couvre les cellules.

Le gravier servant de balast repose sur une couche de granit cassé; un canal pierré de 0^m28 de largeur règne sur toute la longueur du pont, dans l'entrevoie; il est rempli de pierres grossièrement cassées et conduit les eaux vers les gargouilles qui sont au sommet des voûtes.

A l'intérieur des parapets, vers le milieu du pont, se trouve sur un marbre blanc l'inscription suivante :

Deo juvante
auspiciis
Friderici Augusti regis
patris patriæ
pous hicce
fundatus die XXXI maii
A. MDCCCLVI,
inauguratus die xv juli
A. MDCCCLL.

Vis-à-vis de cette inscription, sur le parapet opposé, se lit également sur du marbre blanc l'inscription :

Stando distantia
juncat.

Des écussons rectangulaires en granit ont été incrustés extérieurement sur les arceaux supérieurs des piles couplées; ils ont 5^m38 de longueur sur 2^m76 de hauteur et portent en lettres de 0^m56 de hauteur, taillées de 0^m10 en relief, les inscriptions suivantes :

- 1^{er} écusson : Fondé en 1846.
 2^e écusson : Achevé en 1851.
 3^e écusson : Ingénieur en chef, R. WILKÉ.
 4^e écusson : Ingénieur, H. KELL.

RENSEIGNEMENTS SUR LES MATÉRIAUX EMPLOYÉS ET SUR
 LES PRIX DE REVIENT.

I. — *Matériaux de construction.*

1. Le cube total de la maçonnerie monte à 62,497^m9 de mètres cubes, dont :

a. Maçonnerie en pierres de taille (granit) :

Dans les piliers.....	17,214 ^m 9
Dans les voûtes.....	3,107 5
Pour dalles.....	1,225 9
Total de la maçonnerie en pierres de taille.....	21,548 ^m 3

b. Maçonnerie en briques :

Dans les piliers, les façades et la maçonnerie complémen- taire.	28,543 ^m 7
Dans les voûtes...	1,475 8
Cube total de la maçonnerie en briques.	30,019 5

c. Maçonnerie en moellons (diosit et schistes marneux) dans les culées et les murs de raccordement.

En tout.....	10,930 1
Total égal au cube général de la maçonnerie.....	62,497 ^m 9

Les fondations ont absorbé :

1° Maçonnerie en moellons, 3,513^m7, savoir :

Pile N° 1 ^a	139 ^m 0	
— N° 1 ^b	140 ^m 5	
— N° 7 ^a	375 ^m 5	
— N° 7 ^b	283 ^m 1	
	553 ^m 0	maçonnerie complémentaire des fondations en granit.
	205 ^m 8	fondations des têtes d'amont et d'aval.
	1,816 ^m 8	fondations des murs de rac- cordement des culées.

Total égal au cube de la maçonnerie en moel-
lons..... 3513^m7

2° Maçonnerie en granit, 4,426^m1 :

Pile N° 2	944 ^m 7	
— N° 3	944 ^m 7	
— N° 4 ^a	1,991 ^m 6	
— N° 4 ^b		
— N° 5 ^a		
— N° 5 ^b		
— N° 6	545 ^m 1	

Total égal au cube de la maçonnerie en granit des
fondations..... 4,426^m1

Celui de la maçonnerie en moellons
est..... 3,513 7

Total général du cube des fonda-
tions..... 7,939^m8

2. Les 21,548.3 mètres cubes de pierre de taille et de
dalles, toutes en granit, ont coûté, rendus sur le

chantier, 1,557,101 fr. 75 c., soit par mètre cube 72 fr. 387.

3. Les 30,019.5 mètres cubes de maçonnerie en briques ont absorbé 11,200,000 briques, soit par mètre cube de maçonnerie 371 pièces. Rendues sur le chantier, ces briques ont coûté une somme de 502,937 fr. 45 c., soit par mètre cube de maçonnerie 5 fr. 965.
4. L'approvisionnement sur chantier des moellons bruts pour 10,930 m. de maçonnerie a coûté 65,355 fr. 70 c., soit par mètre cube de maçonnerie 5 fr. 965.
5. L'approvisionnement sur chantier des matériaux nécessaires pour la fabrication du mortier et du ciment est revenu à 243,171 fr. 65 c., soit par mètre cube de maçonnerie à 3 fr. 887.

La répartition du mortier et du ciment dépensés pour chaque espèce de maçonnerie, de même que le rapport des mélanges des différents corps pour fabriquer ces mortiers et ciments, peuvent être calculés par analogie, en prenant pour bases les sous-détails du viaduc de la Goeltzsch. La chaux employée au viaduc de l'Elster revenait un peu meilleur marché que celle du viaduc de la Goeltzsch; par contre le sable était un peu plus cher; en sorte que le prix de revient du mortier-ciment était à peu près le même pour les deux viaducs.

6. D'après ce qui précède, on peut estimer que les matériaux ont coûté, par mètre cube de maçonnerie :

a. En pierre de taille.....	73 fr. 238
b. En briques.....	22 619
c. En moellons.....	11 338

I. — *Main-d'œuvre pour journées de maçons et d'aides :*

1. La dépense totale monte pour ce chapitre à 328,413 fr. 75 c. soit à 5 fr. 254 par mètre cube de maçonnerie.

2. Le sous-détail de la main-d'œuvre est indiqué ainsi qu'il suit :

a. Par mètre cube de maçonnerie en pierre de taille :

<i>aa.</i> Choix des pierres sur le chantier, chargement et transport à une distance moyenne de 280 mètres, pour arriver sous les grues destinées à les élever; montage sur les échafaudages, transport du ciment sur les échafaudages à une distance moyenne de 168 mètres; distribution des pierres, approche de l'eau, etc.	2 ^f 615
<i>bb.</i> Préparation du mortier-ciment.....	0 275
<i>cc.</i> Journées de maçons.....	1 927
<i>dd.</i> Salaire des surveillants, chefs de chantiers, etc.....	0 206
Total de la main-d'œuvre par mètre cube de maçonnerie en pierre de taille.	5^f 023

b. Par mètre cube de maçonnerie en briques :

<i>aa.</i> Chargement des briques, transport, etc., comme pour les pierres de taille.....	1 ^f 170
<i>bb.</i> Préparation du mortier-ciment.....	0 757
<i>cc.</i> Journées de maçons.....	2 064
<i>dd.</i> Salaire des surveillants, chefs de chantiers, etc.....	0 206
Total de la main-d'œuvre par mètre cube de maçonnerie en briques.....	4 197

c. Par mètre cube de maçonnerie en moellons :

Journées de maçons	1 ^f 582
Plus-value par mètre carré de parement vu.	0 898
Approche des matériaux par mètre cube.....	0 688
Le mortier a été fait à la journée. En moyenne, le	

mètre cube de maçonnerie en moellons est revenu à 28 fr. 241 ou 8 fr. 60. ???? (1).

Échafaudages.

III. — Échafaudages.

1. La somme totale dépensée pour matériaux et main-d'œuvre d'établissement des échafaudages est de 593,355 fr. 90 c., soit par mètre cube de maçonnerie 9 fr. 495.

2. Le développement des échafaudages, cintres, etc., est de 99,448 mètres carrés, qui ont coûté 322,500 fr., soit par mètre carré 4 fr. 348.

Le mètre carré a exigé 0^m058 de bois rond, à raison de 17 fr. 41 c. par stère.

De plus, on a dépensé pour achat de planches et de lattes 125,000 fr.

3. a. Main-d'œuvre pour charpenter les bois, transport et mise en place, par mètre carré, en moyenne 0 fr. 976.

b. Pour démontage, journées de manœuvres, fabrication des boulons et crampons, pour établissement de chemins de roulage, en tout 135,000 fr.

IV. — Machines, outils, engins, fer.

Achat et établissement d'une machine à vapeur, d'un appareil pour monter le mortier et le ciment, de bocards

(1) Le chiffre, dans l'original allemand, est faux et illisible; en effet, on peut lire 42,50 de groschen ou 12,50 de groschen, par aune cube; dans le premier cas il faut traduire par 20 fr. 241 par mètre cube, et dans le second par 8,60. La traduction littérale « *Le mètre cube de maçonnerie en moellons est revenu*, » n'indique pas si c'est matériaux en main-d'œuvre, ou main-d'œuvre seulement; et les prix de 28 fr. 241 et de 8,60 ne peuvent convenir à aucune des deux suppositions.

(Note du Traducteur.)

pour réduire les schistes alumineux et les tuiles en poudre,
de petits wagons, de fer pour boulons, etc., 143,022 fr. 95 c.

Soit par mètre cube de maçonnerie 3 fr. 288.

V. — *Direction des travaux.*

Non compris le salaire des surveillants, chefs de chantiers, etc., on a dépensé pour cet objet une somme totale de 77,952 fr. 05 c.

Soit par mètre cube de maçonnerie 1 fr. 245.

VI. — *Bâtiments provisoires.*

Comprenant les bâtiments pour loger la machine à vapeur, les bocards et les machines à faire du mortier et du ciment; les logements des surveillants et les casernes des ouvriers; somme totale, 28,022 fr.

Soit par mètre cube de maçonnerie 0 fr. 448.

VII. — *Établissement de chemins.*

Dépense totale, 55,404 fr. 05 c.

Soit par mètre cube 0 fr. 887.

VIII. — *Travaux de fondations.*

Comprenant les fouilles et le régalage, le transport des terres, etc., 216,654 fr. 60 c.

Soit par mètre cube de maçonnerie 3 fr. 468.

IX. — *Frais généraux.*

Indemnités, secours aux malades, etc., 99,378 fr. 15 c.

Soit par mètre cube de maçonnerie 1 fr. 590.

Prix de revient du Pont de l'Elster.

1^o Maçonnerie en granit, 21,937 mètres cubes, non compris le mortier et la main-d'œuvre..... 1,557,181 fr.

2° Maçonnerie en briques, 31,754 mètres cubes, mortier et main-d'œuvre non compris.....	502,937
3° Maçonnerie en moellons, 7,492 mètres cubes, mortier et main-d'œuvre non compris	65,357
4° Ciment et mortier.....	220,668
5° Journées de maçons et d'aides.....	350,914
6° Échafaudages et journées de charpentiers, environ 187,000 mètres courant de bois d'un équarrissage moyen de 0 ^m 236 sur 0 ^m 283.....	593,356
7° Outils, machines, moyens de transport, fers, etc.....	143,023
8° Travaux de fondations.....	216,654
9° Traitements	77,952
10° Frais généraux.....	182,804
Total général.....	3,910,846 fr.

Ce qui fait 14,017 fr. par mètre courant, et par mètre superficiel.

Le prix de revient ci-dessus ne fait pas abstraction des sommes qu'on a dû retirer de la vente des bois des échafaudages, des boulons et des crampons, des fers, des machines à vapeur, des bocards, des camions, wagons, wagonnets, etc. L'auteur ne connaît pas les détails, mais il estime qu'on a dû retirer de la vente au moins 150.000 thalers, soit 562,500 fr., pour les deux viaducs de la Goeltzsch et de l'Elster, et il admet un tiers de cette somme environ, soit 187,500 fr. en faveur du viaduc de l'Elster, et deux tiers environ, soit 375,000 fr., en faveur de celui de la Goeltzsch.

VIADUC DE LA VALLÉE DE LA GOELTZSCH.

Le viaduc se compose de deux étages entre les piles renforcées (ou couplées), et de quatre entre ces mêmes piles et les culées. Sur la rive gauche, ces quatre étages se réduisent successivement à trois, à deux, et enfin à un seul, tandis que sur la rive droite elles n'arrivent qu'à deux étages qui sont reliés à la culée par quatre arcades plus hautes.

Viaduc de la vallée
de la Goeltzsch.

La longueur totale du viaduc est de 573^m,88, et sa largeur entre les deux parapets de 7^m,93. La plus grande hauteur du fond du ruisseau au niveau des rails est de 77^m,73, et celle entre le niveau inférieur des fondations et celui du rail, de 92^m,06.

La grande arche inférieure a 41^m,36 de hauteur sous clef au-dessus du lit de la Goeltzsch, celle supérieure a 31^m,73 au-dessus du couronnement de l'inférieure. — La hauteur totale des deux arches est égale à la hauteur totale de l'inférieure, soit 43^m,74, plus, celle de la supérieure, de 33^m,99. Sur la hauteur du socle, l'ouverture de l'arche inférieure est de 28^m,61; celle de la supérieure, de 30^m,88.

Les différents étages du pont sont formés par les arcades, composées elles-mêmes de deux arceaux parallèles dans les trois étages inférieurs, et d'une voûte entière dans l'étage supérieur; la largeur en ce point est de 7^m,93. — Les piles forment saillie de 1^m,98 par étage, et ont de plus un fruit de 1 à 48.

L'étage inférieur comporte dix piles, dont le couronnement

se trouve à 23^m,34 au-dessus du lit de la Goeltzsch, et à 16^m,43 au-dessus du socle. Les piles couplées intérieures ont 7^m,93 d'épaisseur, celles extérieures 7^m,63. — La largeur des piles, normalement à l'axe du pont et à la hauteur du couronnement, est de 21^m,13. La largeur d'un arceau est de 5^m,38.

Le second étage comporte 17 piles de 20^m,39 de hauteur, et de 4^m,53 d'épaisseur. L'ouverture entre deux piles est de 12^m,75. — La largeur des piliers à la hauteur du couronnement est de 16^m,31, celle des arceaux de 5^m,38. Les piles couplées ont, dans cet étage, la même épaisseur que dans l'étage inférieur.

Le troisième étage a 22 piles de 17^m,56 de hauteur; leur épaisseur est de 3^m,68. — L'ouverture entre deux piles est de 13^m,60. La longueur d'une pile est de 11^m,61, celle d'un arceau de 2^m,83. — L'épaisseur des piles couplées de cet étage est la même que dans le suivant, c'est-à-dire de 6^m,80.

Le quatrième étage a 22 piles, ayant 16^m,43 de hauteur. — L'épaisseur des piles est de 3^m,12; l'ouverture de 14^m,16. — La largeur des piles et des arcades est de 7^m,93. — La culée gauche de cet étage a 23^m,23 de longueur.

En vue des réparations qui pourraient devenir nécessaires, et pour permettre de visiter et d'observer le viaduc avec la plus grande facilité, on a pratiqué des ouvertures dans les piles, suivant la direction de la longueur.

L'étage formé par les quatre arcades plus hautes dont nous avons déjà parlé, se rattache d'un côté à la culée gauche, longue de 40^m,04, et de l'autre au reste du viaduc déjà décrit par une pile renforcée (pile culée). Il a 28^m,32 de hauteur au milieu de cette pile, et 26^m,63 au milieu de l'arche près de la culée. La pile renforcée (pile culée) a une épaisseur totale de 11^m,90, et se trouve percée de trois ouvertures superposées ayant chacune 2^m,83 de largeur. — La partie inférieure des

trois piles de cette arcade a $1/24$ de fruit se prolongeant jusqu'à $16^m,50$ en contre-bas du rail de la voie; cette partie est construite en maçonnerie de moellons, tandis que la partie supérieure est en maçonnerie de briques et a $2^m,83$ d'épaisseur. — Dans ces quatre arcades les socles, les voussoirs et les plinthes des piles sont en granit, tandis que les fondations et la culée sont en moellons.

Dans le viaduc primitivement décrit, les maçonneries diverses se partagent en :

1° *Maçonnerie de granit ou de pierre de taille (a)*, employée dans l'étage inférieur pour les fondations, les socles, les piliers jusqu'à la naissance des voûtes, les dalles de recouvrement (b); dans le deuxième et le troisième étages pour les fondations, les socles, les points d'appui des voûtes, les dalles de recouvrement (c); dans l'étage supérieur pour les socles, les plinthes, les voussoirs, les corniches principales de tout le viaduc, les dalles de recouvrement des balustrades et des perrons.

2° *Maçonnerie de moellons*. — Les culées des étages inférieurs et de la culée gauche supérieure.

3° *En maçonnerie de briques* tout le reste du viaduc.

Dans tout le cours de construction, les pierres de taille, les moellons et les briques n'ont été liées ou solidarisées qu'avec du mortier ou du ciment; on n'a employé pour cet usage ni crampons ou ancras en fer.

Le cube total de la maçonnerie du pont de la Goeltzsch monte à $135,663$ mètres, dont :

1° En maçonnerie de pierre de taille, de granit ou de grès, dalles de recouvrement, etc..... $48,256$ mètres,

2° En maçonnerie de briques..... $71,663$ —
soit environ 20 millions de briques.

3° Maçonnerie de moellons..... $15,744$ —

Pour faire ces maçonneries, on a employé :

- 131,153 hectolitres de chaux ;
- 17,088 mètres cubes de sable de carrière ;
- 3,158 mètres cubes de sable alunifère ;
- 11,085 mètres cubes de schiste alunifère et de briques et de tuiles pilées.

Le granit a été extrait dans les carrières des environs de Schoenheidé et de Morgenroethé, notamment à Schreiersgrun, à Herlagrün et à Tannebergsthal. — Les moellons ont été pris dans les carrières des environs de la formation de schiste argileux (Thonschiefer-Claye-Slate).

Le grès a été cherché en partie dans les environs d'Altenbourg ; on s'est servi en partie aussi de celui de Pirna et de Rochlitz.

Les briques ont été fabriquées dans diverses tuileries considérables du voisinage de Planen, de Reichenbach et de Werdau.

Les matériaux de construction ont été soumis à différentes expériences. — J'ai indiqué leur résistance dans mon article sur le viaduc de l'Elster.

A l'intérieur des parapets, vers le milieu du pont, se trouve sur un marbre blanc l'inscription suivante, qui est du reste la même sur le viaduc de l'Elster :

Deo juvante,
auspiciis
Frederici Augusti regis
patris patriæ
fundatus die XXXI maii
A. MDCCCKLVI,
inauguratus die XV juli
A. MDCCCLL.

Et sur le parapet, vis-à-vis :

**Frugiferos ecleret motus
immobilis ipse.**

Extérieurement, sur les arceaux supérieurs des piles coupées, se trouvent des écussons en granit ayant, comme ceux du pont de l'Elster, 5^m,38 de longueur et 2^m,76 de hauteur, portant en chiffres de 0^m,56 de hauteur, taillés de 0^m,10 en relief, les inscriptions suivantes :

Fondé en 1846.

Achevé en 1851.

Ingénieur en chef, R. WILKÉ.

Ingénieur, F. DOST.

RENSEIGNEMENTS SUR LES MATÉRIAUX EMPLOYÉS ET SUR
LES PRIX DE REVIENT.

I. — Matériaux de construction.

1. Le cube total de la maçonnerie monte à 135,661.5 mètres cubes, savoir :

a. Maçonnerie en pierre de taille, 48,184.6 ^m ³, dont	{	20,580.9 mètres cubes en granit, dont
		18,457.4 ^m dans les piliers,
		1,314.0 — voûtes, 809.5 de dalles.
	{	27,603.7 mètres cubes en grès, dont
		19,814.5 ^m dans les piliers,
		5,341.4 — voûtes, 2,447.8 de dalles.

b. Maçonnerie
en briques. 71,800.3 mètres cubes, dont
66,698.6^m dans les piliers
et les façades.
5,101.7^m dans les voûtes.

c. Maçonnerie
en moellons. 15,616.6 mètres cubes, dont
15,616.7^m dans les piliers,
59.9^m — voûtes.

Les fondations ont absorbé 35,661.5^m.

a. Maçonnerie en moellons.

Pile N°	1.....	1,453.5 m ^c	} Partie du viaduc sur la rive droite de la Goeltzsch.
—	2.....	138.8	
—	3.....	155.1	
—	4.....	149.5	
—	5.....	451.1	
—	28.....	272.5	} Culée sur les talus de la vallée, rive gauche de la Goeltzsch. — 4 ^e Partie.
—	29.....	363.5	
		817.5	
Total.....		3,801.5	de maçonnerie en moellons.

b. Maçonnerie en pierres de taille.

Pile N°	6.....	242.9 m ^c	} 3 ^e Partie.
—	7.....	159.1	
—	25.....	313.9	
—	26.....	313.9	
—	27.....	313.9	
—	8.....	789.2	} 2 ^e Partie.
—	9.....	789.2	
—	10.....	788.3	
—	11.....	925.5	
—	12.....	996.8	
—	23.....	465.1	
—	24.....	465.1	

— 13.....	935.3	}	1 ^{re} Partie.	
— 14.....	935.3			
— 15.....	935.3			
— 16 ^a	1,009.7			
— 16 ^b	916.3			
— 17 ^a	2,338.6			
— 17 ^b	902.7			
— 18.....	473.6			
— 19.....	450.7			
— 20.....	935.3			
— 21.....	935.3	}		
— 22.....	566.8			

Total..... 17,897.8 mètres cubes de maçonnerie
en pierre de taille.

3,801.5 mètres cubes de maçonnerie
en moellons.

21,699.3 mètres cubes de maçonnerie
de fondations.

2. Pour exécuter 48,184.5 mètres cubes de maçonnerie en pierres de taille on a dû approvisionner 49,701.6 mètres cubes, qui, tous frais compris, ont coûté, rendus sur le chantier, 3,606,084 fr. 50 c. Il s'ensuit que les pierres, pour un mètre cube de maçonnerie en pierres de taille (granit en grès), sont revenues à 74 fr. 84 c.
3. Les 71,800.5 mètres cubes de maçonneries en briques ont absorbé 26,200,000 briques, soit, par mètre cube, en y comprenant la casse, environ 363 pièces. Ces briques, rendues sur le chantier, ont coûté 1,054,970 fr. 30 c., ce qui fait, par mètre cube de maçonnerie, pour approvisionnement de briques, 14 fr. 70 c.
4. Pour 15,676.6 mètres cubes de maçonnerie en moellons on a approvisionné 25,115.4 mètres cubes de moellons bruts (90 mètres de moellons bruts ont suffi pour 60 mè-

tres de maçonnerie). Les moellons, rendus sur le chantier, sont revenus à 125,675 fr. 80 c., soit, par mètre cube de maçonnerie pour approvisionnement de moellons, 8 fr. 01 c.

5. Les mortiers et ciments ont coûté une somme totale de 545,643 fr. 75 c., soit, par mètre cube de maçonnerie, 4 fr. 03 c.

La dépense pour mortiers et ciments se subdivise :

- a. Pour 15,676.6 mètres cubes de maçonnerie en moellons,
- | | |
|----------------------------------|------------------|
| 30,229 hectolitres de chaux, à.. | 59,321 fr. 60 c. |
| 6,042 mètres cubes de sable, à. | 24,942 » |
| <hr/> | |
| Total..... | 84,263 fr. 60 c. |

Soit, pour mortier d'un mètre cube de maçonnerie en moellons, 5 fr. 37 c.

- b. Pour 48,184.6 mètres cubes de maçonnerie en pierre de taille, 220 mètres de cette maçonnerie ont absorbé :

5 1/3 de mètre de chaux pulvérisée;	
5 1/3 — de briques ou de schistes alu-	
	mineux pulvérisés ;
5 1/3 — de sable tamisé.	

Les 16 — de matériaux ont produit 15 1/9 de mètres de ciment sec ; 16 mètres de ciment sec ont produit 17 mètres de ciment mouillé (humide). On a employé 2,409.2 mètres cubes de mortier ciment mouillé, qui a coûté 40,968 fr. 50, soit 17 fr. 005 par mètre cube de ciment, et, par mètre cube de maçonnerie en pierres de taille, 0 fr. 850 pour ciment.

- c. Pour 71,800.3 mètres cubes de maçonnerie en briques on a employé 24,723.5 mètres de mortier ciment humide, dont le prix de revient a été de 420,411 fr. 65 c., ce qui équivaut, par mètre cube de maçonnerie en

briques, à 0 mètre cube 344 de ciment, coûtant 5 fr. 855.

d. Les 27,132.7 mètres cubes de ciment employés pour la maçonnerie en pierres de taille et celle en briques ont exigé pour leur fabrication :

107,428.5 hectolitres de chaux ;

14,028.1 mètres cubes de schistes alumineux pulvérisés ou de briques pulvérisées ;

14,028.1 mètres cubes de sable tamisé ;

e. La fabrication des mortiers et des ciments a exigé :

137,657.4 hectolitres de chaux ;

19,970 mètres cubes de sable ;

13,928.1 mètres cubes de tuiles ou de schistes alumineux pulvérisés.

6. D'après ce qui précède, les matériaux sont revenus, par mètre cube de maçonnerie, en :

1° Pierre de taille, 74^f 84^c + 0^f 85^c = 75^f 69^c

2° Briques, 14 70 + 5 855 = 20 555

3° Moellons, 8 01 + 5 37 = 13 38

II. — Main-d'œuvre pour journées de maçons et d'aides.

1. La dépense totale pour main-d'œuvre de journées de maçons et d'aides monte à 791,549 fr. 95 c.

Soit par mètre cube de maçonnerie 5 fr. 835.

2. Les détails de cette main-d'œuvre se subdivisaient, en 1850, lorsqu'on n'avait pas besoin de plans inclinés pour l'approche des matériaux, de la manière suivante :

a. Par mètre cube de maçonnerie en pierres de taille :

aa. Choix des pierres sur le chantier, chargement et transport à une distance moyenne de 340 mè-

tres, jusqu'au chemin de circulation pour les
chevaux..... 1^r 721

<i>bb.</i> Transport des pierres avec attelages de chevaux jusqu'à la culée N° 1, à des distances variant entre 340 et 453 mè- tres	0 207
<i>cc.</i> Transport des pierres entre les piles N° 1 et 28, à une distance moyenne de 283 mètres, jusque sous les engins destinés à les élever.....	0 321
<i>dd.</i> Élever les pierres sur les échafaudages, approche de l'eau et du mortier, etc...	0 551
<i>ee.</i> Fabrication du mortier-ciment.....	0 287
<i>ff.</i> Journées des maçons.....	1 927
<i>gg.</i> Salaire des surveillants, chefs de chan- tiers, etc.....	6 207
	5 221

b. Par mètre cube de maçonnerie en briques :

<i>aa.</i> Chargement des briques dans les caisses des wagons, transport à une distance moyenne de 1,700 mètres.....	0 284
<i>bb.</i> Déchargement des caisses renfermant les briques, transport moyen à 113 mètres, jusqu'au point où l'on commence à transporter par chevaux, chargement sur lowris des caisses vides, retour des lowris jusqu'à la locomotive, distance de 280 à 340 mètres.....	0 161
<i>cc.</i> Transport des briques (par chevaux) jus- qu'à la culée N° 1, distance de 340 à 450 mètres.....	0 069

Report.....	0 514
<i>dd.</i> Transport des briques depuis la culéo N° 1 jusqu'aux pieds des piliers; distance moyenne, 283 mètres.....	0 322
<i>es.</i> Élever et distribuer les briques sur les pi- liers, approche de l'eau du mortier-ci- ment.....	0 551
<i>ff.</i> Fabrication du mortier-ciment.....	0 849
<i>gg.</i> Journées des maçons.....	2 065
<i>hh.</i> Salaire des surveillants, chefs de chan- tier.....	0 207
	4 ^f 508

c. Maçonnerie en moellons :

Salaire des maçons par mètre cube de ma- çonnerie.....	1 ^f 583
Par mètre carré de parement vu.....	0 998
Aux aides, pour approche des matériaux, par mètre cube.....	0 688
Aux aides, pour élever les matériaux, par mètre cube et par mètre de hauteur.....	0 061
La fabrication du mortier s'est faite à la jour- née, et la main-d'œuvre par mètre cube de maçonnerie en moellons a coûté en moyenne	5 607

Observation. La différence existant entre le prix moyen de la main-d'œuvre par mètre de maçonnerie indiqué par le § 1, et ceux des sous-détails § 1a et § 1b, s'explique en considérant que le premier renferme en même temps le transport des matériaux qui ont été transportés sur le plan incliné.

III. — Échafaudages.

1. La dépense totale pour matériaux et main-d'œuvre des Documents.

échafaudages monte à 959,669 fr. 80 c., soit par mètre cube de maçonnerie à 7 fr. 073.

2. La surface développée des échafaudages comprend 187,500 mètres carrés, y compris 9,500 mètres carrés perdus par le débitage.

On a eu besoin de 26,580 mètres cubes de bois ronds qui ont coûté..... 498,750^f 00 •

Soit par mètre cube de bois rond
18 fr. 80 c.,

Et par mètre carré d'échafaudages, 2 fr. 663.

De plus, on a acheté des planches
et des lattes pour..... 82,500 00

3. Main-d'œuvre.

- a. Équarrissage des bois, transport et mise en place des échafaudages.. 182,812 50

Soit par mètre carré de surface
0 fr. 976.

L'établissement d'un mètre carré d'échafaudages revient donc :

Acquisition du bois..... 2^f 663

Main-d'œuvre..... 0 976

Total..... 3^f 639

- b. Établissement de 36,366 mètres carrés de chemins..... 25,000 00
Soit par mètre carré 0 fr. 687..

- c. Établissement de 3,850 mètres carrés de conduites d'eau..... 1,500 00
Soit par mètre carré 0 fr. 389..

- d. Montage et démontage des échafau-
A reporter..... 790,562 50

Report.....	790,562	50
dages, cintres, etc., transport des bois sur les chantiers, 62,160 mè- tres carrés	25,000	00
Soit par mètre carré 0 fr. 402.		
e. Surveillance	45,000	00
f. Fabrication de boulons, de crampons de caisses à mortier, etc., etc....	99,107	30
Total égal à § 1.....	959,669	80

IV. — Machines, outils, engins, fers.

Achats de deux machines à vapeur, chacune de 10 chevaux de force, de 50 grands wagons de transport, un appareil pour monter le mortier, wagonnets, fer pour boulons et crampons, bocards pour réduire en poussière les tuiles et les schistes, etc., 360,279 fr. 70 c.

Soit par mètre cube de maçonnerie 2 fr. 656.

V. — Direction; non compris le salaire des surveillants, 93,371 fr. 50 c.

Soit par mètre cube 0 fr. 69.

VI. — Bâtiments provisoires.

Logements des surveillants, abris pour les machines à vapeur, les bocards, les machines à faire le mortier, 76,496 fr. 30 c.

Soit par mètre cube de maçonnerie 0 fr. 564.

VII. — Établissement de chemins, 89,455 fr. 30 c.

Soit par mètre cube de maçonnerie 0 fr. 659.

VIII. — Fouilles et travaux de fondations, 351,240 fr. 70 c.

Soit par mètre cube de maçonnerie 2 fr. 587.

IX. — Frais divers, indemnités, secours aux malades, etc.,

2,42 pour 100 de toutes les dépenses, 195,089 fr. 40 c.

Soit 1 fr. 095 par mètre cube

RÉCAPITULATION.

Pierres de taille pour 48,184^{m35} de maçonnerie 3,606,084^f 50

Report.....	3,606,084 50
Briques pour 71,800 ^{m³5} de maçonnerie.....	1,054,970 30
Moellons pour 15,676 ^{m³6} de maçonnerie....	125,675 80
Mortier pour maçonnerie et moellons.....	84,263 60
Mortier-ciment pour maçonnerie en pierres de taille, 2,409 ^{m^c1}	40,968 50
Mortier-ciment pour maçonnerie en briques, 24,723 ^{m^c5}	420,411 65
Main-d'œuvre pour journées de maçons et d'aides.....	791,549 95
Échafaudages.....	959,669 80
Machines, outils, engins divers, fer.....	360,279 70
Direction, non compris le salaire des surveil- lants.....	93,371 50
Bâtiments provisoires.....	76,496 30
Établissement de chemins.....	89,455 30
Fouilles et travaux de fondations.....	351,240 70
Frais divers, secours aux malades, etc.....	195,089 40
Total général.....	<u>8,249,527^f 00</u>

Il convient de retrancher du prix total de revient indiqué ci-dessus la valeur des bois des échafaudages, des machines, des boulons, des bocards, des outils, des wagons, des fers, etc. L'auteur de la note ne connaît pas les détails; mais il les estime, pour le pont de la Goeltzsch, à environ 350,000 fr.

DEVIS EXPLICATIF

DE LA CONSTRUCTION

DU VIADUC DE LA SUIZE A CHAUMONT (HAUTE-MARNE).

PAR M. DECOMBLE,

Ingénieur des ponts et chaussées, attaché à la Compagnie du chemin de fer de l'Est,
qui a rédigé les projets de ce viaduc,
sous la direction de M. ZEILLER, ingénieur en chef.

CHAPITRE I^{er}.

RAISON D'ÊTRE ET DESCRIPTION DU VIADUC.

(1) Le viaduc de Chaumont permet aux chemins de fer de Paris à Mulhouse et de Saint-Dizier à Gray, préalablement réunis en tronc commun, de franchir la vallée profonde de la Seine, d'aborder ensemble le plateau du chef-lieu de la Haute-Marne, et d'asseoir leur gare unique, (*renfermant un des plus importants dépôts de matériel du réseau de l'Est*), à 500 mètres du centre de cette ville, c'est-à-dire d'un centre d'affaires important.

Raison d'être du
viaduc

A la vérité, l'on pouvait encore atteindre ce but multiple en adoptant certain tracé qui permettait de réduire de 600 mètres à 350 mètres la longueur du viaduc, en élevant à peine la hauteur de 50 à 54 mètres. Les ingénieurs de la Compagnie avaient même donné la préférence à cette solution, en vue des économies qui devaient en résulter dans les frais de premier établissement. Mais comme, d'un autre côté, il en serait aussi résulté un allongement d'environ 1,500 mètres

sur la ligne principale de Paris à Mulhouse (*en quelque sorte au profit de la ligne secondaire de Saint-Dizier à Gray, raccourcie de 600 mètres*), ce tracé n'a pas été admis.

Puis, quant aux autres lignes possibles dans le voisinage de Chaumont, elles se présentaient toutes comme plus dispendieuses encore que les deux précédentes, et les moins dispendieuses entre elles, comme capables d'enlever à la Compagnie des chemins de fer de l'Est le moyen de lutter avec avantage dans toute l'étendue du département de la Haute-Marne, c'est-à-dire sur 150 kilomètres environ, contre les anciens modes de transport par routes empierrées, soit en raison des frais parasites de camionnage et d'omnibus, soit à cause des temps perdus considérables qui eussent été la suite de l'établissement simultané des deux gares les plus importantes du pays, celles de Chaumont et de Langres, au pied de rampes extraordinairement longues et roides.

En d'autres termes, l'adoption de l'une quelconque de ces dernières lignes aurait eu pour conséquence immédiate de compromettre de la manière la plus grave à la fois les revenus de l'exploitation et la somme des services que le pays est en droit d'attendre, en définitive, des sacrifices consentis en faveur de l'établissement des voies nouvelles de communication.

Tracé du viaduc
en plan.

(2) L'alignement droit qui sert d'axe longitudinal au viaduc présente ces circonstances remarquables dans un terrain aussi accidenté que le sol voisin de Chaumont, d'avoir 3,600 mètres de longueur quand on le suppose dépendant de la ligne de Paris à Mulhouse, et 2,500 mètres quand il est supposé appartenir au chemin de fer de Saint-Dizier à Gray; de comprendre dans son étendue toute la garb du chef-lieu de la Haute-Marne; de franchir, suivant la direction imposée, la vallée de la Suize en son profil transversal le plus étroit, de couvrir dans cette direction tous les points culminants; et, enfin, de dominer jusqu'à de longues distances tout le pays voisin de la jonction des deux lignes : donc, en résumé, de

passer par tous les points les plus favorables à tous égards.

(3) L'ouvrage entier, comme l'ensemble des deux chemins de fer dans cette région, est en rampe uniforme de 0^m,006 par mètre : rails, plinthes, cordons, centre des arches, etc., se trouvant dans une suite de plans parallèles. Mais il n'en est pas de même, cependant, des naissances des voûtes, les cordes de leurs arcs étant toujours horizontales, et la rampe générale de l'ouvrage rachetée par le surhaussement de l'un des pieds droits, et un abaissement égal de l'autre.

Profil en long.

(4) A l'exception des gardes-corps, construits en fonte *(afin de diminuer de $\frac{1}{12}$ la largeur moyenne entre les têtes)*, le viaduc est tout en maçonnerie.

Emploi à peu près exclusif de la maçonnerie.

(5) Il a 600 mètres de longueur entre les remblais qui contrebute les deux culées extrêmes, et les arcades allant se perdre de part et d'autre dans ces remblais rendent inutile tout mur en aile et en retour.

Longueur.

(6) La plus grande hauteur depuis le sol de fondation jusqu'au sommet des gardes-corps est de 54^m,36, bien que la hauteur maxima du rail au-dessus de la vallée atteigne elle-même 50^m, et que les fondations de certaines piles descendent jusqu'à 7^m,50 et même 8^m de profondeur.

Hauteur.

Enfin, la hauteur moyenne est de 36^m,64 au-dessus de la surface du sol, et de 39^m,45 au-dessus des roches qui servent d'appui aux fondations, gardes-corps compris.

(7) Le viaduc se compose de trois arcades superposées et circulaires, auxquelles on a donné 5 mètres de rayon uniformément, afin de permettre l'emploi des mêmes cintres à tous les étages, sauf, bien entendu, à monter à la cerce les reins des plus grandes voûtes.

Étages.

L'arcade supérieure, à pleins cintres, contient 50 voûtes

successives, l'arcade médiane 46 voûtes de 9^m,50 d'ouverture, et l'arcade inférieure 23 voûtes de 9^m,25 de corde.

Enfin, la hauteur maxima totale du premier étage est de 19^m,85, dont 15^m,80 pour pieds droits; tandis que les mêmes dimensions verticales sont, pour le deuxième étage, 15^m,15 et 10^m,76, et, pour le troisième, 15^m et 8^m,65.

Motifs
et distribution des
piles culées.

(8) De 5 en 5 arches, une pile culée à section horizontale rectangulaire comme toutes les piles, et capable de résister à la poussée de l'une des deux parties juxtaposées du viaduc en supposant la contre-partie accidentellement détruite, constitue une garantie sérieuse opposée à l'influence destructive et redoutée des chocs et des trépidations, donne au monument un caractère de force qui lui manquerait peut-être, à cause de la maigreur de ses piles supports, en l'absence de cette disposition, et vient rompre la monotonie de l'aspect général.

Ces piles-culées, qui comptent parmi elles les culées extrêmes (*enfouies sur presque toute leur hauteur au milieu des remblais qui touchent à l'ouvrage*), et qui divisent le viaduc en 10 travées de 5 arcades comprenant de 8 à 15 voûtes, à peu d'exceptions près, étayées deux à deux ou trois à trois, devaient être d'ailleurs, et ont été, en effet, du plus grand secours pendant la construction, car elles permettaient des décintrements partiels utiles à la marche rapide des travaux, et la réduction du nombre des cintres nécessaires à l'édification complète de l'ouvrage.

Largeurs.

(9) La largeur du viaduc de la Suize est de 8^m entre les gardes-corps en fonte, conformément aux indications du cahier des charges de la concession, et de 8^m,10 entre les parements vus des tympans des voûtes qui supportent directement la voie. Mais en raison de la saillie de 0^m,125, formée par le troisième étage des piles au pourtour de la retombée de ces mêmes voûtes, et par chacun des étages sur l'étage immédiatement supérieur (*cette saillie remplaçant toute corniche, soit*

à la naissance des grandes voûtes, soit au sommet des deux étages inférieurs); puis, en raison du fruit de 0^m,06 par mètre des becs de pile dans toute la hauteur du troisième étage, de 0^m,08 dans toute la hauteur du second étage, et de 0^m,09 dans toute la hauteur du premier, la longueur de la pile-support la plus élevée atteint 15^m,88 au niveau du sol de la vallée, ou, plus exactement, sur le massif même des maçonneries de fondations arrêté à 0^m,30 en contre-bas de ce sol naturel.

On trouve, d'ailleurs, les longueurs remarquables suivantes entre les becs d'une même pile-support, savoir :

1° Sous le cordon du premier étage.....	12 ^m ,394
2° Au-dessus de ce cordon.....	12 ^m ,060
3° Sous le cordon du deuxième étage.....	9 ^m ,710
4° Au-dessus de ce cordon.....	9 ^m ,388
5° Sous le cordon du 3 ^e étage.....	8 ^m ,404
6° Au-dessus de ce cordon.....	8 ^m ,100

Quant aux piles-culées, la génération de leur longueur entre les deux becs ne diffère pas, sauf au droit des contre-forts, de celle d'une pile ordinaire. Les contre-forts, conçus dans le but de dissimuler les petites erreurs possibles dans l'implantation, y ajoutent, pour les deux becs ensemble, sur 2^m de largeur au-dessus des naissances des grandes voûtes, sur 2^m,25 dans la hauteur du troisième étage, sur 2^m,50 dans la hauteur du deuxième, et sur 2^m,75 dans la hauteur du premier, une constante ($2 \times 0^m,30 = 0^m,60$) dans toute la partie du pilastre comprise entre le dessus du massif des fondations et le niveau des naissances des grandes voûtes; puis, à partir de ce point, une variable proportionnellement de moins en moins forte au fur et à mesure que l'on s'élève le long des tympans verticaux des mêmes voûtes, et qui se réduit à ($2 \times 0^m,015 = 0^m,03$) immédiatement au-dessous des consoles de la grande plinthe de couronnement.

(10) D'autre part, les voûtes des deux étages intermédiaires, Arcs-boutants.

simples arceaux contre-boutants, présentent 3^m,00 de largeur seulement entre les tympans des têtes; elles ont pour effet de rompre ou d'atténuer les trépidations puissantes qui se propagent du haut en bas du viaduc lors du passage des trains, et de combattre la tendance à la flexion transversale de celles des piles qui jouent le rôle de simples supports.

Par conséquent, elles devaient permettre de pousser l'amin-
cissement de ces supports jusqu'à la limite rigoureusement
déduite : 1° de la résistance des matériaux à la rupture par
compression; 2° de l'utilité du plus large empâtement possible
dans le sens perpendiculaire à la longueur du viaduc; 3° de
la convenance de monter simplement les faces latérales des
pieds-droits suivant le fil à plomb; 4° enfin, de la nécessité de
pourvoir à la sûreté de maçons travaillant à de grandes hau-
teurs, en ne diminuant pas outre mesure la largeur des plates-
formes (c'est-à-dire des sections horizontales de piles).

Elles réalisent une économie notable sur les voûtes simi-
laires ayant largeur entière de viaduc, généralement em-
ployées dans le même but, sans que les résultats employés
sur la Suisse paraissent moins complets que partout ailleurs.

Puis, comme des portes de 2^m,50 de largeur sur 5^m,00 de
hauteur sous clef, ménagées à travers toutes les piles, corres-
pondent précisément à la face supérieure du dallage qui sert
de chape auxdites voûtes, l'ensemble de ces dispositions sem-
ble exactement approprié aux besoins de la surveillance et
de l'entretien de l'ouvrage, aussi bien qu'aux besoins de la
circulation des gens de pied, auxquels une voie nouvelle,
agréable et facile, se trouve ouverte de la sorte de l'un à
l'autre des plateaux qui encadrent la vallée.

Épaisseur des
piles.

(11) Dans le plan de la retombée des voûtes qui portent la
voie, l'épaisseur des piles-supports est de 1^m,55 seulement ;
elle est de 1^m,80 dans toute la hauteur des pieds-droits qui cor-
respondent à l'étage supérieur du viaduc, de 2^m,05 dans toute

la hauteur de la zone médiane, et de 2^m,30 dans toute la hauteur de l'étage inférieur.

Au-dessus du massif des fondations, ou bien à la base de la pile-support la plus élevée, cette dernière dimension, combinée à la longueur maxima (15^m,88), correspond à l'énorme charge de 3,674,314 kil., ou bien de 10^k,06 par centimètre carré, c'est-à-dire à $\frac{1}{25}$ de la résistance minima à l'écrasement instantané du corubash, et à $\frac{1}{20}$ de la résistance analogue de la grande oolithe, employés dans cette partie du viaduc; enfin, à une fraction comprise entre $\frac{1}{20}$ et $\frac{1}{25}$ de la résistance minima à l'écrasement instantané des roches compactes du forest marble qui supportent directement l'ouvrage.

L'épaisseur des piles-culées est à peu près double, moyennement, de celle des piles supports; elle est de :

- 3^m,60 dans le plan de retombée des voûtes qui supportent la voie;
- 3^m,80 dans toute la hauteur des pieds-droits du troisième étage;
- 4^m,05 dans toute la hauteur de l'étage moyen;
- et 4^m,30 d° du premier étage, dont la base est débordée en tous sens, et sur 0^m,50 de largeur par le massif de fondations.

Cependant, la pression par mètre carré est encore, à la base de la plus haute culée, 93,400^k, au lieu des 100,600^k afférents à la pile-support voisine; donc, on n'eût rien gagné en facilité d'exécution, à moins d'exagérer outre mesure les empâtements et les cubes, à préférer des piles épaisses à des piles minces, puisque les difficultés devaient surtout provenir de la compression exercée, par exemple, sur chacun des 291 lits de mortier rencontrés dans certaines des plus hautes piles.

Ouverture des
arches.

(12) Mais, en outre, l'expérience, venant confirmer les prévisions des ingénieurs, a fait voir, en cours d'exécution, combien des piles épaisses s'élèvent plus lentement que des piles minces; au point que les piles-culées du viaduc de la Suize seraient devenues un obstacle sérieux à l'achèvement de cet ouvrage dans le trop court délai de quinze mois (*fixé d'avance et d'une manière absolue par le Comité de direction de la Compagnie*), sans leur très-petit nombre, qui permit de porter sur elle à la fois l'élite des travailleurs d'un chantier de 800 hommes et les matériaux les plus favorables entre tous, par leurs dimensions, à l'exécution rapide des maçonneries.

Enfin, d'autre part, la très-faible profondeur moyenne de fondation, promise par les sondages d'études (4^m,00), la certitude de ne pas rencontrer d'épuisements notables en raison de la nature fissurée des roches (*l'histoire des travaux de deux ponts du voisinage donnant toute garantie à cet égard*), les dimensions généralement très-petites des matériaux des carrières indiquées tout d'abord au devis particulier (*et découvertes sur les plateaux les plus voisins du viaduc, en vue des seuls besoins de cet ouvrage*); puis, en dernier lieu, le caractère spécial de facilité d'exécution et de décintrement, de stabilité des voûtes en plein cintre ne dépassant pas 10^m d'ouverture, devaient nécessairement encore conduire à multiplier les supports du viaduc de la Suize et à rejeter les chances aléatoires inhérentes à la poussée de grandes arches au sommet de piles exceptionnellement élevées.

Le viaduc de la
Suize est à peu
pres un solide
d'égale résis-
tance.

(13) Mais c'est ici le lieu, pour en finir avec ce genre d'explications, de faire observer qu'en l'absence des petites portes ménagées à travers les piles, immédiatement au-dessus du niveau de l'extrados de chacun des deux étages intermédiaires, et dans un triple but architectonique, de convenance et d'économie, la pression par 0^m,01², supposée tranquille, décroîtrait d'une manière à très-peu près uniforme depuis la base de la pile-support la plus élevée jusqu'au plan de retombée des voûtes qui supportent la voie; ou bien, depuis 10^k,06,

jusqu'à 5^k,81 : en d'autres termes, quo le viaduc de Chaumont ne semble point, au premier aperçu, être un solide d'égalé résistance, ou n'ayant pas plus de chanco de rupture en un point que dans l'autre : c'est-à-dire, en définitive, conçu de manière à employer rigoureusement le moins de matériaux possible.

Or, il est facile de faire voir que cette contradiction entre le but évident du projet et le projet même n'est qu'apparente, car :

1° Par suite de l'obligation d'achever le viaduc de Chaumont en 15 mois, il fallait prévoir, dans la composition du projet, un accroissement de la difficulté d'obtenir de la part d'un entrepreneur lourdement responsable de tout retard, une exécution parfaite des maçonneries, ou bien un respect absolu des prescriptions du devis particulier, au fur et à mesure que l'on se rapprocherait davantage de la limite extrême des délais accordés, ou de la fin de la campagne de 1856; et, par conséquent, il fallait, pour écarter les conséquences périlleuses de toute malfaçon relative pouvant surgir à cette époque, ou pour uniformiser la résistance des maçonneries du haut en bas du viaduc, diminuer les pressions et permettre, par conséquent, de rapprocher le mode d'exécution de cet ouvrage, du mode d'exécution des maçonneries les plus usuelles (*admettant de 3 à 5 kilogrammes de pression par 0^m,01²*) au fur et à mesure que l'on se rapprocherait d'ailleurs du fait des piles : sauf, bien entendu, en quelques parties peu considérables et telles que les pieds-droits des petites portes, précisément, à propos desquelles il serait toujours possible de rester sévère, ou même exigeant.

2° Les expériences comparatives poursuivies au moyen d'une lame élastique sur l'action d'une charge tranquille, puis sur l'action d'une charge animée de vitesse, tendent à faire admettre, savoir :

Que la résistance des matériaux à l'action de la charge tranquille est identique à leur résistance à l'action de la moitié de cette charge animée de la vitesse, et produisant les trépidations normalement constatées sur les routes empierreées;

Et identique à l'action du tiers de cette même charge animée de la vitesse, et produisant les trépidations normalement constatées sur les chemins de fer.

De sorte que la pression au bas des piles les plus élevées du viaduc de la Suisse, ou loin de l'action éminemment compromettante et destructive de la trépidation produite par le passage des trains, étant $10^k,06$ par $0^m,01^2$, elle devait être à leur sommet $\frac{10^k,06}{3} = 3^k,35$ environ : pression effectivement réservée, à bien peu près, au sommet des piles culées; c'est-à-dire au sommet des piles qu'il était surtout important de rendre complètement inaltérables en vue du rôle spécial que le projet leur avait tout d'abord assigné, et consistant à combattre et anéantir, à elles seules, l'effet redouté des trépidations.

Quant à la pression au sommet des piles supports, on s'est laissé aller, en raison de la faible importance relative accordée à ces piles, à l'hypothèse qu'il existe, en définitive, une différence radicale entre l'action directe et immédiate d'une charge mobile sur une lame élastique, et l'action de la même charge mobile sur des maçonneries massives, avec l'intermédiaire, surtout, d'une autre masse considérable et irrégulièrement constituée (*le balast et le matériel fixe de la voie*), essentiellement propre, en raison de sa nature même, à rompre, à atténuer, ou à détruire partiellement, et l'une par l'autre, la plupart des vibrations : donc, à ramener approximativement l'effet des trépidations de chemin de fer, par exemple, tout au plus à l'effet qui serait exercé sur une lame élastique par

les trépidations normalement rencontrées sur les routes ordinaires. De sorte que, dans le cas particulier du viaduc de Chaumont, la pression à admettre sur le sommet des piles, en général, ne pouvait guère dépasser, mais devait atteindre réellement, 5 à 6 kilog.

Donc aussi, véritablement, et contrairement aux conclusions à tirer d'un premier aperçu, on doit considérer le viaduc de Chaumont comme étant, à très-peu près, bien entendu, un solide d'égale résistance; mais dans lequel, toutefois, certaines économies dans le cube des matériaux employés eussent encore été possibles, sans la hâte tout à fait anormale apportée dans l'exécution, et notamment en agrandissant la hauteur des petites portes, et quelque peu même la pression maxima par 0^m,01².

(14) On a calculé l'épaisseur des voûtes à la clef, toutes en plein cintre ou à peu près par la formule

Epaisseur des voûtes à la clef.

$$E = (0,04) R + 0,325$$

dans laquelle R représente le rayon de l'intrados, et dans laquelle les coefficients 0,04 et 0,325 correspondent à la résistance minima à la rupture par compression, et sous l'influence de trépidations puissantes, des matériaux employés.

De sorte que l'épaisseur à la clef des voûtes supportant la voie a été prise, comme celle des arcs-boutants, de 0^m,50, quoique ces derniers arceaux ne supportent que leur propre poids, ou bien en vue uniquement d'en rendre l'effet plus énergique sur les vibrations.

(15) L'extrados des arcs de contreventement se trouve déterminé par un plan en rampe de 0^m,006, parallèle au plan des rails, et dont l'emploi résultait naturellement du rôle assigné aux voûtes correspondantes, tandis que l'extrados des voûtes supérieures est, dans le voisinage de la clef, limité par

Extradossements des voûtes.

un cylindre concentrique à la douelle d'intrados, et tangent de part et d'autre à des plans inclinés au tiers, c'est-à-dire à 3 de base pour 1 de hauteur (conformément à l'hypothèse inséparable de la formule ci-dessus, employée dans le calcul de l'épaisseur de la voûte).

Tympan.

(16) Afin de tenir compte des surcharges animées de vitesse, les tympan des grandes voûtes ont reçu l'épaisseur de 0^m,80 jusqu'à 1^m,90 en contre-bas du dessus du rail, et de 1^m depuis cette limite jusqu'au point le plus bas des chapes, c'est-à-dire jusqu'à 2^m,61 au-dessous du même repère que ci-dessus.

Ils montrent un parement disposé par assises réglées en rampe de 0^m,006 par mètre, derrière lequel on trouverait un remplissage en bonne maçonnerie ordinaire.

Quant aux tympan des arceaux inférieurs, ils forment un massif plein, parementé comme il vient d'être dit pour les grandes voûtes supérieures.

**Écoulement des
eaux.**

(17) L'écoulement des eaux qui traversent le balast et viennent aboutir aux dépressions ou noues, comprises entre les surfaces d'extrados de deux grandes voûtes consécutives, est, en suite d'un travail en maçonnerie postérieur au décintrement, assuré par une pente de 0^m,02 par mètre donnée au thalweg de ces dépressions dans le sens du sud au nord, ou de l'amont vers l'aval du viaduc, et par l'établissement d'une conduite cylindrique en fonte, couronnée en pomme d'arrosoir, placée le long du joint correspondant au point le plus bas de la noue.

Toutefois, pendant l'hiver de 1857 à 1858, les tuyaux en fonte, exposés en plein nord et constamment à l'ombre au milieu d'un violent courant d'air, se trouvaient encore bouchés par des tampons de glace après que le dégel du tablier du viaduc avait eu lieu, de sorte que l'eau s'élevait jusqu'à

1^m,80 de hauteur dans les noues comprises entre les voûtes, et suait en quelque sorte, sous l'influence d'une forte pression, à travers ces voûtes et leurs tympans. Mais cet accident ne serait pas arrivé, sans aucun doute, si j'avais donné une forme conique, et non pas cylindrique, aux conduites en fonte, en plaçant, bien entendu, la plus grande ouverture du tronc de cône à l'extérieur; et, dans tous les cas, rien n'était aussi facile et peu coûteux que d'en prévenir le retour, comme je l'ai proposé en temps opportun, sans que la Compagnie ait jugé les faits assez graves pour donner suite à ce projet.

(18) Une chape en béton de mortier de chaux moyennement hydraulique et sable, et de petit gravier roulé provenant du criblage de ce sable, recouvre, sur 0^m,125 d'épaisseur, les grandes voûtes du viaduc. Elle contourne bien exactement toutes les surfaces d'extrados préalablement réglées au moyen d'une maçonnerie en moellons minces posés en bain de mortier, disposés en écailles de poissons, et bien assujettis à coup de maillet; puis elle se redresse contre les parois verticales intérieures des tympans, et va jusqu'à recouvrir, derrière la grande plinthe qui couronne l'édifice, les surfaces horizontales ou supérieures de ces mêmes tympans.

Chapes.

Sur les voûtes du contreventement, cette chape est remplacée par un dallage en moellons de même nature que ceux du remplissage, disposés comme ces derniers en mosaïque, mais entre les arêtes vives des plinthes ou margelles en pierre de taille qui couronnent les arcs-boutants; puis rejointoyées profondément en mortier de ciment brûlé de Grenoble et sable, de manière à tenir constamment en évidence un beau spécimen de la maçonnerie intérieure des supports du viaduc.

(19) La corniche de couronnement en pierre de taille du viaduc de Chaumont est séparée de la clef des grandes voûtes par une assise épaisse de 0^m,80; cette corniche a reçu 0^m,60 de hauteur, et rappelle aussi l'épaisseur normale du balast, c'est-à-dire l'épaisseur du balast considérée indépendamment

Corniche
de couronnement.

de la couche de sable de 0^m,04 superposée immédiatement au béton de la chape, et des massifs de pierres sèches qui remplissent les tympans, et dont l'épaisseur propre varie depuis 0^m,125 environ à l'aplomb des files de clef jusqu'à 1^m,66 ou 2^m,01, suivant que l'on considère une pile-support ou bien une pile-culée.

Cette corniche contourne les loges de refuge ménagées au-dessus des becs de pile au moyen de hautes et fortes consoles supportant des dalles, et que rendait indispensable à la sûreté des gardes-ligne, des hommes d'équipe et du personnel de surveillance, la faible largeur du viaduc entre gardes-corps (8^m00).

La partie courante de cette corniche a reçu 1^m00 de largeur, dont 0^m,60 formant culasse et trottoir portant sur les murs, et 0^m,40 saillie en dehors des parements.

Cette dernière partie comprend à son tour :

1° Sur la face supérieure de la dalle, 0^m,15 horizontaux, et 0^m,25 inclinés à 5 de base pour 1 de hauteur.

2° Sur la face inférieure, 0^m,10 horizontaux, 0^m,20 comme projection d'une doucine composée de deux arcs égaux à retombées verticales, décrits avec un rayon constant de 0^m,203 $\frac{1}{8}$; puis, enfin, 0^m,05 de retour horizontal formé d'abord de 0^m,01 en plan, en suite de la projection d'un égouttoir de 0^m,02 de diamètre; enfin, de 0^m,02 en plan; de façon que la corniche offre en élévation de face, et à partir du plan horizontal supérieur, 0^m,05 de hauteur de talus incliné à 5 de base pour 1 de hauteur, 0^m,20 de bandeau vertical, et 0^m,35 de hauteur de doucine.

A l'aplomb des loges de refuge, les dalles de la corniche prennent 1^m,50 de largeur, mesurée perpendiculairement aux rails. Elles s'assemblent là comme partout ailleurs, par simple

juxtaposition, le joint tombant bien au milieu de la console, et tous les détails de profil, soit en face, soit en retour, demeurent identiques à ceux qui viennent d'être décrits pour les pierres analogues de la corniche courante. Mais, cependant, les pierres des angles rentrants du dallage de refuge appartiennent aussi, sur 0^m,30 à 0^m,40, et souvent davantage, à cette corniche, afin d'asseoir solidement les dalles qui, sans cette précaution, eussent été peut-être sujettes à déversement.

Les consoles, au nombre de deux au-dessus des piles-supports et de quatre au-dessus des piles-culées, sont espacées d'axe en axe de 0^m,95 dans le premier cas, et de 0^m,983 1/3 dans le second. Elles ont 0^m,30 d'épaisseur, 1^m,00 de hauteur, 1^m,40 de queue au moins dans le plan horizontal d'arrasement supérieur, et 1^m00 encore au moins dans le plan parallèle inférieur. Elles sont donc enchâssées sur près de 1^m00 de profondeur, et souvent beaucoup plus, dans les maçonneries des tympans; car, bien entendu, on s'est gardé d'amoindrir la culasse d'une console quand elle se présentait avec des dimensions supérieures à celles projetées, donc avec des garanties de stabilité plus grandes,

Les faces latérales des consoles sont planes et verticales. Leur face horizontale inférieure est en relief de 0^m,10 sur le parement des tympans de voûtes, et de 0^m,085 seulement sur les contre-forts des piles-culées. Enfin, leur galbe est composé encore d'une simple doucine ayant pour hauteur la hauteur totale (1^m00) de la console, et dont le profil comprend deux arcs de circonférences inverses, identiques d'ailleurs, verticaux à leurs retombées, et décrits avec le rayon de 0^m,725.

Par suite de l'ensemble des dispositions ci-dessus décrites, les dallages de refuge ont les dimensions suivantes, savoir : Au-dessus des piles-supports, 2^m,05 de longueur mesurée parallèlement aux rails, et 0^m,90 de largeur; puis au-dessus des piles-culées, 4^m,09 sur 0^m,90 encore, et par conséquent

les refuges eux-mêmes ont, à l'intérieur du garde-corps, 0^m,50 de largeur uniforme, sur une longueur de 1^m,25 au-dessus des piles-supports, et de 3^m,25 au-dessus des piles-culées.

Plinthes des-
sant les
étages inférieurs.

(20) Les arceaux contre-boutants des deux étages inférieurs sont couronnés par une plinthe en pierre de taille de 0^m,45 de hauteur et de 0^m,425 de largeur. Cette plinthe forme saillie de 0^m,05 sur le nu des tympans de voûtes et se trouve posée en rampe de 0^m,006 par mètre d'un bout à l'autre du viaduc. En élévation, elle paraît d'abord suivant un plan incliné vers l'extérieur, dont la hauteur verticale est de 0^m,15 et la largeur horizontale 0,125; puis, suivant un simple bandeau vertical de 0^m,30 de hauteur. En plan, elle offre une margelle horizontale intérieure de 0^m,30 de largeur, et ensuite le revers d'eau indiqué ci-dessus comme ayant 0^m,125 de largeur pour 0^m,15 de hauteur.

Cette plinthe de couronnement des arches de contreventement existe tout le long du périmètre de chaque pile, toujours dans le plan précité en rampe de 0^m,006 par mètre, au niveau de chacun des étages, et sans aucune modification de profil, mais les pierres étant disposées par boutisses et panneresses; elle précise ainsi les étages à la vue, et constitue une base fermement assise, aux pieds-droits superposés dont l'ensemble compose la pile entière.

Archivoltes des
voûtes.

(21) L'appareil des archivoltes des grandes voûtes se compose, en élévation, de voussoirs ayant une largeur de 0^m,38, suivant la courbe d'intrados, et généralement une hauteur de 0^m,53; nous disons généralement, parce que ces pierres ont constitué d'abord (*c'est-à-dire dans les premières voûtes construites*) un simple rouleau, tandis que, plus tard, pour supprimer l'emploi de trop petits moellons entre l'archivolte et la plinthe, on a trouvé plus commode de prolonger la clef et les trois voussoirs voisins de part et d'autre, jusqu'aux plans parallèles aux rails et tangents à l'extrados du rouleau, où

constitués par le lit inférieur des plinthes (*la taille continuant, bien entendu, à dessiner le rouleau complet*). En retour vers la douelle d'intrados, les voussoirs ont alternativement 0^m,60 et 0^m,80 de queue, la clef ayant 0^m,80.

Dans les archivoltes des arcs-boutants, l'épaisseur des voussoirs reste uniformément de 0^m,324 au premier étage, et de 0^m,341 au deuxième; la hauteur tombe à 0^m,525. Les harpes ou queues des voussoirs apparaissent alternativement en retour dans la douelle d'intrados, sur 0^m,55 et 0^m,75 de longueur, la clef ayant 0^m,75.

Enfin, en ce qui concerne les archivoltes des petites voûtes ménagées à travers les piles, la hauteur du bandeau est 0^m,40, la largeur en tête de chaque voussoir est 0^m,302, mesurées sur l'arc d'intrados; et l'appareil en retour dans la douelle offre alternativement les longueurs de 0^m,45 et 0^m,60, la clef ayant 0^m,60.

(22) Les coussinets de retombée de toutes les voûtes ont été faits en pierre de taille, rigoureusement appareillés suivant le biveau, mais assujettis d'ailleurs à la seule condition de présenter une même épaisseur dans chaque file de pierres, ou rein de voûtes.

Coussinets.

(23) A part les pierres qui viennent d'être décrites successivement dans les paragraphes qui précèdent, il n'existe aucune pierre d'appareil régulier dans le viaduc de Chaumont, ou bien aucune pierre dite de taille.

Simplicité de l'appareil général

Ainsi, les arêtes saillantes de cet ouvrage ont été dessinées avec de simples moellons croisés dans l'angle, chacun d'eux faisant panneresse sur une face et boutisse sur l'autre, sans aucune sujétion d'ailleurs quant aux trois dimensions (*sauf, bien entendu, le rapport sommaire généralement admis entre la longueur, la largeur et la hauteur d'un bloc, dans l'intérêt*

soit de la stabilité sur le lit de pose, soit de l'uniformité de pression dans toute l'étendue de ce lit).

Les arêtes reutrant les unes dans les autres ont été constituées de même, le moellon de l'un des murs s'arrêtant au parement de l'autre mur, pour laisser faire harpe ou bontisse au moellon de celui-ci, et réciproquement pour l'une et l'autre des assises comprenant celle considérée.

Dans une assise de pile prise isolément, tous les moellons de remplissage et de parements ont bien la même hauteur en général (*nous verrons plus loin en quoi consiste les exceptions*), mais sans qu'aucune limite inférieure ou supérieure de cette dimension ait été stipulée d'avance au devis particulier. Toutes ces pierres sont, de plus, smillées suivant leurs lits exactement parallèles, et assemblées, en plan, sous forme de mosaïque grossière (*ou d'opus incertum*); d'où vient qu'il a été possible de tenir compte, dans les calculs, de la résistance même de la pierre, et non pas de celle, infiniment moindre, des mortiers.

D'ailleurs, aucune loi dans la variation de l'épaisseur des assises superposées; à ce propos, l'entrepreneur lui-même avait tout d'abord, et de son propre mouvement, rendu la hauteur variable de 0^m,02 au plus dans un sens ou dans l'autre, en passant d'une assise à la suivante; mais il a fallu bientôt renoncer à ces minutieux détails, sous peine des plus grandes complications, et des retards les plus compromettants dans la marche des approvisionnements et des travaux; de sorte que l'on peut constater des changements brusques de 0^m,05, 0^m,06 et même 0^m,07 entre les hauteurs de deux assises superposées.

Enfin, aucune loi, non plus, dans le nombre des files de voussoirs correspondant à un seul voussoir de tête, à l'intrados des voûtes.

En un mot, toutes les sujétions inutiles à la solidité, ou

bien de luxe ou de simple convention architectonique, ont été partout évitées avec un soin extrême et la plus active sollicitude.

(24) Mais, en revanche, on a recherché et appliqué de la manière la plus inflexible, comme on le verra dans le chapitre II, tout ce qui pouvait efficacement combattre les mauvaises chances attachées au genre de travail dont il est question, c'est-à-dire les tassements, et surtout les tassements inégaux.

Sujétions
imposées.

(25) Les parements de la pierre de taille ont été bouchardés, et les arêtes échanfrinées, suivant des pans coupés de 0^m,025 de côté, afin de permettre la taille complète à la carrière, en écartant la crainte de produire des épaufrures pendant les remaniements et les transports; donc aussi, afin d'appliquer ces remaniements et ces transports au seul cube utile, et surtout afin de ne point embarrasser les abords du viaduc par les ateliers étendus de nombreux tailleurs de pierre.

Taille
des parements.

Les moellons employés le long des arêtes saillantes et dans les parements des contre-forts des piles-culées sont à peu près piqués, et même tout à fait piqués dans le voisinage de la base du viaduc, où ces pierres se trouvent en quelque sorte sous les yeux du passant. Mais tout le reste des parements que l'on peut apercevoir a reçu un simple smillage, presque partout fort incomplet et fort grossier. Enfin, les moellons des parements enfouis derrière les quarts de cônes et les talus disposés aux abords sont à peine épincés.

(26) Le garde-corps en fonte pèse moyennement 93 kilog. par mètre linéaire; il est composé de simples fuseaux modestement ouvragés et reliés entre eux, savoir : 1^o par une large embase donnant une assiette bien solide à la galerie, et permettant de vigoureux scellements; 2^o par deux sous-lisses hautes, la supérieure de 0^m,04, l'inférieure de 0^m,045, et placées, l'une à 0^m,1275 au-dessus de l'embase, l'autre à

Garde-corps
en fonte.

0^m,082 au-dessous de la main courante; 3° par la main courante, composée d'une âme venue de fonte avec la galerie, puis d'un chapeau coulé séparément, qui offre en dessous une rainure où l'âme vient se noyer et qui s'assemble avec elle à joints recouverts et par de fortes vis à tête fraisée. Des nœuds figurés par de légères moulures semblent consolider l'assemblage des fuseaux et des sous-lisses. Les fuseaux, espacés de 0^m,11 environ entre eux, et de 0^m,15 à peu près d'axe en axe, ont une hauteur de 0^m,907; l'embase, large de 0^m,14, a une hauteur de 0^m,055; enfin, la main courante est large de 0^m,075 et haute de 0^m,063; d'où, pour la hauteur totale du garde-corps, 1^m,025.

De forts potelets, ou plutôt de minces colonnettes cannelées, arrêtent simplement le garde-corps à chacun des angles de l'espèce de grecque qu'il dessine en contournant les loges de refuge. Ces colonnettes font partie de panneaux ayant un retour à angle droit et venus de fonte avec elles, et concourent à un haut degré, avec la main courante, qui rend toutes les pièces solidaires, à la parfaite stabilité de l'ensemble.

Les scellements sont placés à 0^m,105 environ de chacun des axes des colonnettes, puis de 0^m,50 en 0^m,50 à partir de là, toujours dans l'axe de l'embase. Ils sont formés par des tire-fonds en fer, barbelés, longs de 0^m,20, ayant 0^m,02 pour diamètre, et enfoncés en plein ciment.

Explications
complémentaires.

(27) Terminons, enfin, cette description explicative en faisant ressortir quelques faits notables qui paraissent résulter de la construction du viaduc de la Suisse, et qui sont peut-être capables d'en faire mieux saisir le caractère :

1° En ce qui concerne la fraction de la résistance des pierres à la rupture instantanée par compression, mesurée au moyen de petits cubes, que l'on peut introduire dans les calculs d'une construction par assises sévèrement réglées. Dans le cube

total des maçonneries du viaduc de Chaumont (59,653^m,10), on ne compte pas plus de 3,209^m,09 de maçonneries de pierre de taille, c'est-à-dire que ce viaduc est à $\frac{1}{19}$ près, environ, construit en simples moellons généralement dressés sur leurs lits et disposés par assises parfaitement dérasées, comme il avait été fait précédemment à propos du viaduc de Dinan, ou bien comme l'aqueduc de Roquefavour a été construit lui-même, avec la pierre de taille.

Mais tandis que la pression tranquille maxima supportée par la pierre de taille de l'aqueduc de Roquefavour (12^k,50) représente $\frac{1}{31}$ à peu près de la résistance maxima de ce marbre à la rupture instantanée par écrasement; et tandis que la pression maxima (9^m50), accompagnée d'une faible trépidation supportée par la pierre du viaduc de Dinan, représente $\frac{1}{70}$ seulement de la résistance à la rupture instantanée du granit auquel cette pierre appartient; la pression (10^k,06), accompagnée d'une puissante trépidation que l'on constate dans le viaduc de la Suisse représente $\frac{1}{25}$ de la résistance à la rupture instantanée du corubash, et $\frac{1}{20}$ de la résistance à la rupture instantanée de la grande oolithe employée en chacun des points de cet ouvrage.

Or, cette tentative au delà des limites franchies jusqu'à ce jour, à propos d'ouvrages d'une telle importance, ne saurait manquer d'ouvrir la porte à des hardiesses plus grandes encore; car le viaduc de la Suisse a été construit en quinze mois (du 21 août 1855, date de la pose de la pierre, au 25 novembre 1856, époque du passage de la première locomotive), sans préparatifs préalables d'aucune espèce; et cependant, malgré cette rapidité d'exécution (tellement anormale qu'il doit être

permis de l'appeler excentrique), malgré quelques travaux de nuit et d'une surveillance doublement délicate et difficile, malgré 291 lits de mortier (*à peine moyennement hydraulique*) rencontrés dans certaines des piles les plus élevées (*ou bien, malgré 3^m,78 de hauteur totale de cette matière relativement compressible et friable*), aucune trace de mouvement, soit pendant la construction, soit pendant les deux années d'exploitation qui se sont écoulées déjà, ne s'est manifestée dans l'édifice.

2° En ce qui concerne le rapport entre le vide et le plein :

Tandis que l'on donne (*Annales des ponts et chaussées*, mai et juin 1855, n° 117), pour le rapport du vide au plein relatif au viaduc de l'Indre..... 1,72

D° viaduc de Barontin..... 1,88 } moyenne 1,74

D° viaduc de Folkstone..... 1,61

et tandis que la plupart des ouvrages analogues fournissent des résultats fort rapprochés des précédents, on obtient pour le rapport du vide au plein dans le viaduc de Chaumont (*par la comparaison du volume rigoureusement enveloppant et du volume réel des maçonneries*), savoir :

1° En considérant la partie du viaduc située au-dessous des fondations. 3^m,32

2° En considérant toute la hauteur de l'ouvrage à partir du sol naturel supportant les fondations..... 3^m,12

Or, l'aqueduc gigantesque de Roquefavour (de 83^m de hauteur au-dessus de la vallée, mais soumis à une simple pression tranquille) fournit à ce sujet, d'après le mémoire déjà cité, 2^m,03.

Et le beau viaduc de Dinan (de 49^m de hauteur au-dessus du sol des fondations), construit sous la route impériale n° 176 de Caen à Lamballé, 2^m,06.

A la vérité, bien que les formes générales, très-sobres, de ces deux derniers ouvrages, n'exigent point au même degré que les retraites brusques de l'ensemble du viaduc de la Suisse l'application, sous peine des plus grossières erreurs, d'un mode de calcul tout à fait rigoureux dans la recherche du rapport du vide au plein, nous pensons que si, à propos de l'aqueduc de Roquefavour, du viaduc de Dinan, et des trois viaducs sous rails indiqués plus haut, on comparait le volume réel des maçonneries au volume du solide enveloppant (*c'est-à-dire au volume compris entre les plans prolongés des bords de piles, auquel on ajouterait les cubes exacts des contre-forts et de toutes les parties saillantes en général*), on obtiendrait des chiffres plus élevés que les nombres 2^m,03, 2^m,06, 1^m,61, 1^m,88 et 1^m,72, sans doute calculés sommairement au moyen des surfaces du vide et du plein d'une coupe longitudinale.

A la vérité, aussi, d'après une étude complète poursuivie sur le type du viaduc de Chaumont, le rapport du vide au plein semble devoir décroître un peu, mais très-peu, et tout égal d'ailleurs bien entendu, au fur et à mesure que la hauteur augmente à partir d'une certaine limite, ce qui plaide vivement en faveur du résultat obtenu à Roquefavour.

Cependant, ou quoi qu'il en soit à cet égard, les données qui précèdent paraissent établir que le viaduc de Chaumont, parmi les ouvrages de même espèce, est un des plus légers, et peut-être le plus léger eu égard à la résistance médiocre de ses matériaux, c'est-à-dire l'un des ouvrages où l'on a poussé le plus loin l'économie dans le cube des matériaux mis en œuvre (*bien qu'il faille répéter que cette économie n'aurait pas manqué d'être poussée plus avant encore, sous l'influence de conditions normales d'exécution; ou, en d'autres termes, sans la vitesse excentrique prévue d'avance, puis imposée à la marche des travaux*).

Mais c'est peut-être ici le lieu de remarquer que le rapport du vide au plein n'a pas de signification précise. Calculé sur

une coupe longitudinale (ou bien au moyen des surfaces du vide et du plein de cette coupe), ce rapport n'est pas même une grossière approximation; car dans le viaduc de Chaumont, par exemple, on arriverait de la sorte à un rapport identique dans l'hypothèse d'arcs-boutants qui viendraient affleurer les becs de piles, ou dans l'hypothèse d'arcs-boutants de 3^m de largeur seulement, et, en outre, indépendamment de la largeur des petites portes ménagées à travers tous les supports de l'ouvrage, du fruit des becs de piles, et de la largeur entre garde-corps. Et en le supposant même calculé exactement, ou par la comparaison du cube enveloppant et du cube réel des maçonneries, ce rapport ne saurait avoir de valeur véritable, si l'on ne compare exclusivement par ce moyen des viaducs de même hauteur, de même largeur entre gardes-corps, mais surtout construits de la même manière et avec des matériaux de même résistance aux efforts de compression.

Lorsqu'on se propose de comparer entre eux les projets des deux viaducs construits par assises réglées et à lits smillés, entenant compte approximativement de toutes les circonstances inhérentes à leur construction, il suffit d'observer, il nous semble, que, tout égal d'ailleurs, le cube des matériaux employés dans chacun d'eux devrait être rationnellement proportionnel, à bien peu près, à la largeur entre garde-corps et à la surface totale de l'élévation, tant pleins que vides depuis le sol naturel servant d'appui à l'ouvrage, et inversement proportionnel à la résistance des matériaux à la compression; d'où, évidemment, pour une mesure approchée du progrès économique réalisé dans un viaduc, le rapport du produit du cube total des maçonneries par la résistance des matériaux à l'écrasement (*rapportée au 0^m,01² par exemple*), au produit de la hauteur moyenne par la surface de la partie de la projection horizontale comprise entre garde-corps ou bien au cube du mur plein ayant même surface en élévation que le viaduc lui-même, et pour épaisseur uniforme sa distance entre garde-corps; ce qui revient, en définitif, à rechercher par

mètre cube du mur plein le cube moyen de maçonnerie que l'on aurait employé dans le viaduc si la résistance de ses matériaux avait égalé l'unité.

Le viaduc de Chaumont donnerait de la sorte, savoir :

$$\frac{\begin{array}{c} \text{Cube total des} \\ \text{maçonneries.} \end{array} \quad (59,653.10) \times \begin{array}{c} \text{Minimum de la} \\ \text{résistance des} \\ \text{matériaux par} \\ \text{0,01}^2. \end{array} \quad 250^k}{\begin{array}{c} 8^m,00 \\ \text{Largeur entre} \\ \text{garde-corps.} \end{array} \times \begin{array}{c} 22,413^m,17 \\ \text{Surface totale} \\ \text{de l'élévation.} \end{array}} = 83.$$

Malheureusement, les données correspondantes nous manquent à propos d'autres viaducs ; aussi voulions-nous ici attirer simplement l'attention sur la vacuité de la signification du rapport du vide au plein, tel qu'il a été considéré jusqu'à présent.

Toutefois (et dans le seul but de présenter un aperçu des résultats comparatifs auxquels on arriverait en suivant la marche que nous venons d'indiquer), supposons pour un instant qu'il faille considérer le cube total des maçonneries d'une part, et, de l'autre, non pas la surface totale de l'élévation, compris les fondations, mais cette surface totale non compris les fondations, on aurait alors, savoir :

Pour le viaduc de Chaumont :

$$\frac{59,653^m,10 \times 250^k}{8^m \times \begin{array}{c} 20,723^m,09 \\ \text{Garde-corps} \\ \text{non compris} \end{array}} = 90 \text{ à l'unité près.}$$

Et pour le viaduc de Dinan, construit de la même manière, (c'est-à-dire avec des supports en moellons smillés sur les lits et parfaitement échantillonnés en hauteur dans chaque assise) :

$$\frac{21,504^m,28 \times 700^k}{8^m,03 \times \begin{array}{c} 9,015^m,00 \\ \text{Garde-corps} \\ \text{non compris.} \end{array}} = 208.$$

Lesquels résultats, considérés indépendamment des préoccupations architectoniques qui ont imprimé au viaduc de Dinan un si magnifique caractère monumental, tendraient à faire supposer que le viaduc de la Suisse est plus économiquement conçu dans son ensemble.

On a dit ci-dessus, en effet, que ce dernier utilise $\frac{1}{20}$ de la résistance des matériaux à l'écrasement instantané, tandis que le viaduc de Dinan n'emploie que $\frac{1}{70}$ de cette résistance.

Enfin, si l'on voulait comparer entre eux ces deux viaducs, construits de manières si différentes (*l'un comme il vient d'être dit à propos des viaducs de Dinan et de Châumont, l'autre avec remplissage en maçonnerie ordinaire ou sans préparation des lits de moellons*), il faudrait encore multiplier le rapport défini ci-dessus par le rapport des nombres de journées d'ouvriers (*de maçons et de manœuvres, ramenées à une même réduite de prix*) nécessaires à la façon d'un mètre cube moyen de maçonnerie dans chacun d'eux.

Tous les chiffres avancés indépendamment des considérations précédentes, n'ont absolument aucune liaison entre eux, ne sont point comparables, et ne sauraient fournir que des enseignements purement accidentels, plus capables d'induire en des erreurs grossières que d'éclairer en général.

CHAPITRE II.

MODE ET PROCÉDÉS D'EXÉCUTION.

Fouilles
de fondations.

(28) Les fouilles de fondations ont été faites le plus exactement possible, suivant les dimensions mêmes des maçonneries projetées, et, par conséquent, avec parois dressées verticalement, ou bien au cinquième à peu près.

Seulement, dans ces conditions, on avait soin, dès que la profondeur ou la nature des fouilles laissait à craindre un éboulement, de soutenir les surfaces de déblais au moyen de tableaux en madriers jointifs et disposés horizontalement, contre lesquels venaient s'appliquer de fortes pièces verticales grossièrement équarries à la hache et arc-boutées d'un côté à l'autre de la fouille par de solides traverses.

(29) Moyennant ces précautions, les nombreuses fosses, de 6^m00 et 8^m00 de profondeur, n'ont donné lieu à aucun accident regrettable.

(30) Les fouilles ont été conduites jusque sur les bancs compacts, et surtout bien assis et parfaitement en place, du forest marble, lesquels atteignent, dans le voisinage de Chaumont, jusqu'à 150^m d'épaisseur totale.

Terrains traversés
par les fouilles,
et sol
des fondations.

Le long des escarpements qui encadrent la vallée, on a poursuivi ces déblais d'abord à travers des couches de terre forte contenant de l'argile ocreuse, du minerai de fer, et toujours plus ou moins de pierrailles; puis à travers des bancs de pierres calcaires, dures, sous forme d'écailles minces, appartenant déjà au forest marble, et reliées entre elles par une gangue également calcaire et très-adhérente; enfin, au milieu de gros blocs éboulés ou dérangés de leur position première, le tout constituant un sol qui, dès la deuxième couche, aurait parfaitement suffi aux fondations d'un ouvrage ordinaire, mais qui aurait certainement fléchi sous une masse telle que le viaduc de Chaumont.

Dans le fond de la vallée, toute la hauteur de la fouille traversait uniquement des terrains de transport, qui paraissaient argileux et impénétrables à l'eau, sur 1^m00 ou 2^m00 de profondeur à partir de la surface, sableux et graveleux ensuite, enfin composés tout au bas du déblai, mais sur une très-faible épaisseur, de roches incomplètement assises.

(31) Partout les bancs solides, bien gisans, se sont pré-

sontés tantôt sous la forme de nappes superposées de lamelles calcaires très-minces, très-dures, irrégulières en épaisseur, séparées par de véritables poils d'une gangue calcaire rude au toucher et très-résistante à l'écrasement : tantôt par bancs de très-forte épaisseur d'un calcaire blanc, à cassure mate et conchoïdale, traversé localement par des fils nombreux et très-fins de peroxyde de fer, se croisant en tous sens, la pierre devenant légèrement translucide dans leur voisinage immédiat ; toute la masse d'ailleurs crevassée sans ordre apparent, mais sans offrir de traces d'intervalles véritablement caverneux ou susceptibles de faire craindre une interruption de résistance sous un puissant effort de compression.

(32) Du reste, on s'assurait de la continuité verticale des bancs au-dessous du fond de chaque fouille par deux ou trois sondages à la barre à mine.

(33) Rarement les plafonds naturels des fouilles ne se sont pas montrés tout à fait planes, ou faciles à rendre tels par un piquage rapide et sommaire de quelques aspérités, ou bien encore par une espèce de travail de mosaïste, non moins grossier, mais très-solidement fait, consistant à niveler certaines flâches du plafond au moyen d'une maçonnerie d'éclats de pierre très-minces et posés sur bain soufflant de mortier en pâte ferme.

Toutefois, en vue de ne point enlever certains blocs de rocher considérables et très-adhérents aux assises naturelles inférieures, on a été conduit à fonder plusieurs piles par gradins. Dans ce cas, on a rempli les excavations autant que possible avec de gros blocs, c'est-à-dire avec des libages de très-fortes dimensions, disposés par assises régulières et rigoureusement dressées suivant leurs lits, afin de rendre minimum le nombre des couches de mortier ou de matière compressible, et très-peu probables des tassements inégaux dans les fondations. Mais, ainsi que les termes employés ci-dessus l'ont déjà fait pressentir, toutes les dénivellations de cette espèce n'ont pu

être exécutées par ce moyen ; dans plusieurs fouilles, et en l'absence des grues nécessaires au levage de gros blocs, on a dû procéder au remplissage des excavations avec une maçonnerie de moellons (*souvent excessivement minces*) élevée par assises parfaitement réglées, et, d'ailleurs, avec les soins généraux qui seront décrits plus loin.

(34) Dans le corps du chapitre I^{er}, on a dit que la nature fissurée du sous-sol donnait d'avance la certitude que l'on n'aurait pas d'épuisements considérables à redouter pendant les travaux de fondations. Cependant, un débordement de la Suize, à l'amont du viaduc, ayant amené les eaux d'inondations à certain affleurement inconnu jusqu'alors des couches perméables inférieures des fouilles, des infiltrations ne tardèrent pas à se manifester, et il fallut, pour ne pas arrêter la marche des ateliers, consentir à quelques épuisements qu'il eût été facile d'éviter avec moins de hâte.

Épuisements.

Ils ont, d'ailleurs, été bien peu considérables, car, installée dans une fouille unique (*à cause de la communication souterraine de toutes les fouilles entre elles par l'intermédiaire des couches perméables*), une seule pompe Letestu en est venue rapidement à bout.

(35) On a précédemment indiqué avec quels soins minutieux le projet du viaduc de la Suize avait écarté les sujétions inutiles à la solidité, mais on a dit aussi qu'en revanche tout ce qui était capable de combattre efficacement les chances dangereuses de l'entreprise (*les tassements et surtout les tassements inégaux*) avait été scrupuleusement recherché et appliqué. Ainsi :

1^o Pour faire en sorte que les tassements, si tassements il y avait, fussent uniformes dans chacun des supports considérés isolément (*la hauteur variable des piles ne pouvant laisser, à priori, place à une proposition plus absolue*), on exigea tout d'abord qu'à chaque assise de parement vint correspondre une

assise de remplissage de même hauteur ou épaisseur également bien dérasée sur les deux lits, composée de pierres parfaitement enchâssées les unes dans les autres sous forme de mosaïque grossière; mais surtout on proscrivit absolument toute calle (*c'est-à-dire tout éclat de pierre placé sous une assise en vue d'obvier au défaut de parallélisme des lits*).

Bientôt, pourtant, la certitude complète de l'entière efficacité des mesures prises, non-seulement à l'effet de rendre le tassement uniforme, mais pour empêcher tout tassement, a conduit à modérer l'inflexibilité des ordres relatifs à la première des deux prescriptions ci-dessus; c'est-à-dire que cette certitude a conduit à poser, en définitive, pour une assise de parement deux assises de remplissage, et même trois assises accidentellement (*ces assises de remplissage toujours parfaitement dérasées suivant leurs lits*), dès que la pression par 0,01² s'abaissait jusque dans le voisinage de 7^k,50; et même dans des parties de l'édifice correspondantes à de très-fortes pressions, toutes les fois que ces parties avaient peu de hauteur; par exemple, dans les pieds-droits des petites portes ménagées aux deux étages inférieurs, à travers toutes les piles du viaduc.

Puis, bientôt encore, le degré de perfection constamment obtenu sous le poids d'une surveillance incessante dans le travail des maçonneries, et notamment dans l'uniformité d'épaisseur des lits de mortier serrés au maillet, a décidé des tolérances notables dans le smillage des lits de pierre, aussitôt que les pressions descendaient au-dessous de la même limite quo ci-dessus : 7^k,50 par 0,01², mais sans toutefois permettre d'adoucir, en même temps, les exigences relatives au parallélisme des deux lits d'un même moellon, et à l'entrecroisement méthodique des pierres en vue de constituer un massif parfaitement plein et résistant.

D'ailleurs les dessins de la coupe longitudinale de la pile-support la plus élevée et de la pile-cutée voisine, autographiés

et portant des teintes conventionnelles, guidaient chacun des surveillants au milieu de ces délicates distinctions, sans rien laisser à l'appréciation personnelle d'aucun de ces agents.

2° Pour empêcher toute trace de tassement, un moyen bien simple a été mis en pratique : chaque moellon, sommairement quoique régulièrement dérasé sur ses deux lits, étant à poser sur une surface non moins bien réglée et dérasée, se trouvait présenté en la place qu'il devait remplir et sur sa plus large face, afin de permettre de s'assurer que le lit de mortier à comprimer sous ce moellon prendrait environ 0^m,015 d'épaisseur (*quand la face supérieure viendrait affleurer le niveau général des pierres déjà posées dans la même assise*), et afin de permettre ultérieurement le remplissage des joints avec des éclats de pierre enfoncés verticalement en bain soufflant de mortier.

Le maçon épinçait rapidement les divers joints, de façon à bien engager le bloc en son lieu, et, par suite, de façon à constituer une maçonnerie parfaitement pleine de la matière résistante; puis il étendait une couche de 5 à 6 centimètres de mortier en pâte ferme sur toute la surface qui devait être occupée par le moellon, plaçait le bloc en le faisant glisser sur le mortier, le maintenait dans la position convenable en appuyant le pied sur l'arête la plus proche, et enfin réduisait l'épaisseur du lit de 5 ou 6 centimètres à 0^m,015 à peu près, en frappant la face supérieure de la pierre avec un maillet de bois, d'abord d'un ou deux coups assez légers, puis à tour de bras.

(36) D'ailleurs, l'ouvrier augmentait la grosseur de la masse ou bien l'intensité des chocs, au fur et à mesure que l'épaisseur ou la masse du moellon augmentait elle-même.

(37) Or, le maillochage des moellons, à l'instant même de la pose, rendait le mortier immédiatement si dur, qu'en soulevant de suite la pierre de son lit (*ce qui ne s'effectuait pas*

sans un effort notable), on rencontrait déjà quelque difficulté à faire pénétrer une canne dans ce mortier, et après qu'il avait fait prise, il fallait toujours un levier de fer très-solide et des secousses vigoureuses et répétées pour soulever un bloc, même privé d'appui latéral. Enfin, grâce à ce mode d'exécution des maçonneries, les opérations les plus délicates n'ont pu faire constater la moindre altération, le moindre tassement dans les piles de 50^m,00 de hauteur au-dessus du sol de la vallée; et les voûtes, au montage desquelles on a rigoureusement appliqué la même méthode, n'ont fait aucun mouvement appréciable, malgré le décintrement par simple décoincage uniforme et graduel ordinaire, et quel qu'eût été d'ailleurs le séjour sur le cintre, c'est-à-dire même dans le cas d'un décintrement immédiat.

(38) Lorsqu'une large partie d'assise horizontale ou de voûte était faite, et un peu avant la prise complète des mortiers, on remplissait tous les intervalles notables rencontrés dans les joints, et jusque-là garnis de mortier seulement, avec des éclats de pierre chassés dans une position verticale, afin de serrer davantage la maçonnerie correspondante, et obtenir un massif encore plus plein et plus résistant.

Mode d'exécution
des
maçonneries de
parements.

(39) La pose des pierres de parement s'est effectuée, en général, sur lit de mortier un peu plus mince que dans la maçonnerie de remplissage, parce que, malgré les plus vives instances et les soins les plus attentifs, on n'a jamais pu obtenir des maçons poseurs un travail du maillet de bois aussi vigoureux que celui uniformément obtenu des ouvriers employés au remplissage; dans la façon de cette dernière maçonnerie, le maçon trouvait plus commode et plus rapide de battre les matériaux à tour de bras que de les frapper modérément; mais dans la maçonnerie de parement, au contraire, un emploi énergique du maillet se présentait comme totalement incompatible avec la pose facile, exacte et prompte du moellon en sa place rigoureusement désignée, à cause de l'impossibilité de maintenir le moellon en ce lieu, sans sou-

tiens latéraux et sous l'influence, difficile à mesurer d'avance, d'un effort brusque et puissant, de l'empêcher de se déverser ou de glisser sur son lit de mortier, notamment vers l'extérieur.

Le poseur procédait donc par petits coups d'un maillet très lourd, et n'obtenait jamais le même degré d'incompressibilité du mortier que le maçon occupé au remplissage : circonstance qui, du reste, paraît avoir été compensée approximativement par la diminution même de l'épaisseur de ce mortier (*diminution rendue possible par le dressement plus complet des lits des moellons de parement*), c'est-à-dire par la diminution de l'épaisseur de l'élément compressible.

(40) Le jointoiment de la maçonnerie de parement a été Jointoiment.
immédiat, mais partiel seulement.

Il n'a pas été fait de rejointoiment au viaduc de Chaumont.

(41) Dans la maçonnerie de gros libages employée accidentellement à fonder certaines piles, et notamment lorsque le sous-sol se présentait en gradins, on posait chaque gros bloc sur une couche très-épaisse de mortier (6 à 8 centimètres) et sur son plus grand lit; on battait ce bloc avec une masse en bois de la plus forte dimension qu'un homme puisse manœuvrer, et jusqu'à réduire l'épaisseur du lit de mortier à 0^m,015; puis, on avait le soin de poser chaque libage, non pas tout contre le précédent, mais à une distance telle que l'on pût facilement remplir le joint des deux pierres avec une maçonnerie de petits moellons, lités avec soin et épincés avec intelligence (*ou de façon à bien remplir le vide entier*), disposés très-exactement par assises horizontales et sur bain soufflant de mortier de 4 à 5 centimètres d'épaisseur, ramené ensuite à 0^m,015 par le maillochage; on évitait de la sorte, soit les pertes de matériaux et de main-d'œuvre nécessaires au dressement des joints verticaux et au fichage de ces joints, soit tout sujet

Mode d'exécution
de la
maçonnerie de
gros libages.

d'appréhender des porte-à-faux, ou des discontinuités dans la masse résistante.

Remplissage
des fouilles de
fondations.

(42) Enfin, tandis que dans un but d'économie on apportait le plus grand soin à réduire les dimensions des fouilles aussi étroitement que possible, à celles des massifs de fondations projetés on n'hésitait pas, au contraire, à remplir très-exactement avec de la maçonnerie toute l'excavation de ces fouilles ; ou, au moins, depuis la roche destinée à asseoir le viaduc jusqu'au niveau supérieur des bancs de pierre capables de présenter un appui latéral efficace à sa base. Mais, au-dessus de cette limite remarquable, on élevait le fût de la pile suivant les dimensions indiquées au projet, en se contentant de combler l'intervalle compris entre les maçonneries et les parois de la fosse, au moyen d'un mélange de pierrailles et de terre forte, arrosé et pilonné.

Mode d'exécution
des voûtes.

(43) En ce qui concerne les voûtes, les pierres de parements et celles de remplissage ont été posées d'après les procédés décrits ci-dessus en termes généraux ; seulement on a procédé au fichage des files de clefs avec le plus grand soin et bien littéralement jusqu'au refus. De plus, les pierres de remplissage ont été placées en continuation des pierres de parements, ou suivant le biveau de la voûte, depuis l'intrados jusqu'à la chape, dans les grandes arches supérieures qui supportent la voie ; tandis que dans les arcs-boutants, ce remplissage s'est arrêté à une épaisseur maxima de 0^m,60, et même de 0^m,50 vers les reins, afin, dans ce dernier cas, d'engager le moins possible dans les fûts de piles, une maçonnerie non disposée par assises horizontales. Au-dessus de ces épaisseurs, le remplissage des voûtes de contreventement jusque sous le dallage, a eu lieu en bonne maçonnerie ordinaire parfaitement pleine, et chacune de ses pierres étant posée solidement en plein mortier.

Raccordement
des maçonneries
de voûtes avec
celles des piles.

(44) Quant au raccordement des assises horizontales d'une

pile avec les maçonneries des reins d'une voûte de contreventement, il a toujours été effectué, savoir :

1° Au droit des coussinets et des archivoltes, en terminant la tête d'extrados de chaque coussinet ou voussoir engagé dans le corps de la pile par un plan vertical et un plan horizontal : c'est-à-dire suivant l'appareil à crémaillère, fréquemment employé en tête de voûte.

2° Au droit de la maçonnerie de remplissage de la voûte, en réalisant aussi bien que possible, par un épinçage intelligent des moellons aboutissant à l'extrados, ce qui vient d'être dit à propos du raccordement des archivoltes ; ou, plus explicitement, en taillant les moellons d'extrados de remplissage tantôt comme si leur tête appartenait à une crémaillère de la nature indiquée ci-dessus, tantôt en bec de flûte à 45° se raccordant avec une précision complète aux moellons d'assise de la pile, taillés de même.

(45) La chape des voûtes de contreventement a été remplacée par un dallage en moellons bruts absolument de même nature que ceux de remplissage, posés en bain suffisant de mortier avec toutes les précautions indiquées plus haut, disposés en mosaïque serrée et rejointoyés profondément avec mortier de ciment de Grenoble et de sable. L'épaisseur des moellons de ce dallage a varié arbitrairement entre 0^m,15 à 0^m,25 à peu près.

Mode d'exécution
des chapes.

(46) Quant à la chape des grandes voûtes qui supportent la voie, elle est effectivement formée de deux chapes superposées, savoir :

Une première chape constituée :

1° Par un remplissage en tout petits matériaux posés en bain soufflant de mortier, régularisant l'extrados de la maçonnerie de moellons qui prolonge dans toute l'épaisseur de la voûte l'appareil de son parement ;

2° Par une couverture générale, établie par-dessus le remplissage précédent, tendant à faire aboutir les eaux au point le plus bas des noues, et composées de pierres très-minces, extraites des bancs supérieurs du corubrash et disposées en écailles de poissons sur bain soufflant de mortier.

Une deuxième chape, ou chape proprement dite, formée d'une couche de 0^m,125 d'épaisseur en béton de chaux hydraulique, sable et petit gravier, coulée en une seule nappe sous la pression et l'influence des premières gelées de l'hiver de 1856 à 1857, et battue à la savatte jusqu'au refus complet (*c'est-à-dire avec une grande pelle en épaisse basane criblée de clous de cuivre et fortement emmanchée, précédemment introduite par M. l'ingénieur en chef Fouache, sur les travaux du canal de la Marne au Rhin*).

Les précautions mises en pratique à propos de l'exécution de la première de ces deux chapes étaient absolument les mêmes que celles indiquées à propos d'un remplissage quelconque; elles devaient suffire, car l'eau tombée sur une pile pendant sa construction continuait à monter dans chaque vide de l'assise commencée jusqu'à l'arrasement complet de son assise, et sans perte apparente par filtration, dès que toutes les pierres de parement étaient définitivement en place.

(47) Quant à la façon de la deuxième chape, elle a consisté à mettre parfaitement à nu jusqu'au mortier vif les joints de la première chape ci-dessus, à balayer tous les détritits de cette opération préliminaire, à laver ensuite jusqu'à ne plus obtenir que des eaux claires pour eaux de lavage, à étendre sur la surface ainsi préparée et quelque peu desséchée 0^m,15 d'épaisseur de béton, à battre cette nappe au moyen de la savatte et de manière à faire sortir le mortier en excès, à niveler et lisser alors presque jusqu'à siccité la surface du béton, à recommencer le battage à la savatte, à lisser encore, et ainsi de suite jusqu'à ce que la chape pût supporter, sans conserver d'empreinte, le poids d'un homme en marche.

(48) Est-il nécessaire d'ajouter que l'on n'a pas plus attendu pour commencer les chapes que toutes les voûtes fussent faites, que l'on a attendu l'achèvement de toutes les voûtes d'un étage pour opérer le décintrement des cinq voûtes successives d'une travée de cet étage, c'est-à-dire de cinq voûtes comprises entre deux piles-culées; en d'autres termes, aussitôt que le décintrement des cinq voûtes supérieures d'une travée quelconque avait eu lieu, on en montait les tympans et l'on procédait immédiatement à l'exécution des chapes.

Exécution
des voûtes avec
des
chapes partielles.

(49) Dès que le béton avait acquis, sous l'influence du travail alternatif et suffisamment prolongé de la savatte et de la truelle, la dureté nécessaire, on étendait sur la surface générale de la chape une couche de sable épaisse de 0^m,04 environ, pour la mettre à l'abri du rayonnement d'abord, donc de la congélation immédiate; et ensuite pour la préserver du choc des pierres et pierrailles à décharger par wagons entiers dans les tympans, en guise de première couche de balast. Dans ce dernier but encore, on posait par-dessus le sable un dallage en moellons bruts, choisis parmi les plus minces et les plus plats (c'est-à-dire parmi les déblais de ciel de carrières ou les rebuts d'extraction).

Balastage
des tympans.

Mais en vue de faciliter l'écoulement des eaux vers le point le plus bas de la noue ou vers le jetoir en fonte, et afin de rendre plus difficile l'obstruction de cette issue, on prenait soin de ne pas étendre de sable dans le thalweg de la noue, d'y établir un petit aqueduc à pierres sèches, et d'envelopper cet aqueduc, ainsi que la pomme du jetoir, d'un enrochement arrangé à la main, puis de pierres cassées de plus en plus menues et sur une assez grande hauteur, pour les protéger de toute atteinte pendant le déchargement des remblais de pierrailles.

(50) Enfin, les terres qui constituent les plates-formes aux abords du viaduc, au lieu de venir butter directement contre les culées et les piles au risque de produire des infiltrations à

Pierrées derrière
les culées.

travers leurs maçonneries, s'appuient contre ces culées par l'intermédiaire d'un enrochement de 0^m,30 d'épaisseur environ, très-irrégulièrement et sommairement fait, mais qui suffit à donner un écoulement facile et rapide aux eaux jusque sur le sol naturel, au pied des terrassements.

Nécessité d'un
marché à forfait
à propos des
ponts de service et
des engins.

(51) C'est donc ici le lieu de faire observer que si les exigences d'une rapidité d'exécution plus qu'anormale conduisaient, sous bien des rapports, la Compagnie des chemins de fer de l'Est à empiéter sur la mission généralement attribuée à l'entrepreneur, inversement l'obligation contractée par ce dernier de finir les travaux dans le délai de quinze mois rendait nécessaire à son profit un traité à forfait, quant à la construction des ponts de service, cintres, etc., etc., et quant aux choix et à la fourniture des engins les plus propres à hâter extraordinairement la marche des travaux, car autrement, et en vue de se dégager d'une responsabilité aussi lourde, l'entrepreneur aurait pu ne pas omettre d'arguer de dispositions vicieuses, ou prétendues telles, dans l'ensemble de l'installation, pour pallier, expliquer, et faire admettre en fin de compte des retards qu'il était très-rationnel de craindre dans de telles circonstances.

Transport
des matériaux
à pied d'œuvre.

(52) Le sable et le gravier provenant d'un seul et même criblage arrivaient sur essieux et sur routes empierrées jusqu'auprès des machines à vapeur qui fabriquaient les mélanges.

(53) Il en était de même pour le transport de la chaux et de la pierre de taille, entre les fours et le gisement et les lieux de dépôt aux abords du viaduc.

(54) Quant aux moellons, ils étaient extraits des divers bancs de *corubrash* et les bancs rouges ou supérieurs du *forest marble* qui occupaient les plateaux culminants du pays, et ils descendaient jusqu'au lieu d'emploi sur rails ou y étaient transportés soit en descendant sur rails, soit à l'aide de locomotives.

Un grand système d'échafaudages exactement représenté **Pont de service.** dans l'*Atlas du Nouveau Portefeuille de l'Ingénieur*, servait à distribuer ensuite le mortier ou les matériaux de construction sur les différents points où ils étaient employés.

Bien que ce système d'échafauds ne puisse guère trouver d'application que dans le cas excessivement rare d'un viaduc à construire avec une rapidité exceptionnelle, nous avons cru devoir le reproduire, et nous croyons devoir le décrire au moins sommairement, parce qu'il offre l'exemple de dispositions que l'on peut adopter, si ce n'est dans leur entier, du moins partiellement, dans d'autres cas.

La pensée fondamentale de cet échafaudage peut se résumer comme il suit :

1° Ramener la construction d'un viaduc de 50^m,00 de hauteur à celle de trois viaducs ayant pour hauteur moyenne les $\frac{4}{5}$ de la longueur totale de l'ouvrage projeté, et chacun 17^m environ de hauteur seulement, c'est-à-dire à la construction de trois viaducs à propos desquels le trajet des matériaux, soit à la montée, soit à la descente, rentre dans les conditions les plus usuelles ;

2° Faire constamment descendre la pierre depuis son gisement jusqu'au lieu d'emploi ;

3° Enfin, réduire des deux tiers à peu près la hauteur du vide entourant les plates-formes, étroites et élevées, qui devaient servir de postes aux maçons, afin de diminuer les dangers résultant du vertige ; augmenter le nombre des ouvriers capables de recevoir de l'emploi sur les piles, et, par conséquent, éviter le plus possible les grèves ou les prétentions excessives quant aux salaires.

Plus explicitement, le pont de service constituait, en réalité,

un grand viaduc en charpente, un peu plus haut que le viaduc projeté, à trois étages comme lui, mais plus complet, en ce sens que le plancher de chacun des deux étages inférieurs, au lieu de recevoir 3^m,00 de largeur seulement (*comme les arc-boutants du viaduc définitif*), avait dans cette dimension, outre la longueur comprise entre les bacs de pile au niveau correspondant, toute la largeur nécessaire à l'emplacement de deux, et même partiellement de trois voies pour wagonnets. (*Voir les figures du Portefeuille.*)

(55) Ce viaduc en charpente était composé de piles ou tours enveloppant l'emplacement des piles à élever en maçonnerie; ces tours étaient reliées entre elles par des cours de moises faisant partie des longerons ou poutrelles des tabliers des étages et par des croix de Saint-André, en dosses de $\frac{0,30}{0,05}$ d'équarrissage; et, enfin, chaque tour ou pile se composait elle-même de deux fermes, rendues solidaires dans tous les sens.

Quant aux détails de ces fermes, ils sont suffisamment représentés par nos planches.

Au moyen de fourrures et de boulons, ou bien de fourrures et de longues broches, on avait rendu invariables non-seulement les distances entre les longerons supportant les tabliers, mais encore celles comprises entre les mâts et les poutrelles les plus rapprochées.

De plus, la sûreté de chaque assemblage se trouvait garantie par des nœuds ou ligatures, vigoureusement serrés, et formés avec des cordes en fil de fer, de 1 centimètre de diamètre, contenant 5 fils et pesant 22 kilog. environ par mètre linéaire; tandis que d'autres câbles, tout semblables, enroulés par leurs bouts autour des assemblages, les mieux placés à cet effet le long des mâts, ou bien accrochés à des broches en fer, l'un sur une face et l'autre sur la face opposée de chaque

longrine principale (*c'est-à-dire de chaque longrine placée sur les rives du tablier et sous les rails, à l'aplomb des grues*), étaient tendues à outrance par-dessous de légères traversines

de $\frac{0^m,10}{0^m,10}$ d'équarrissage, soutenant ainsi les parties médianes

des tabliers et des moises, et protégeant contre toute rupture accidentelle (*dont l'expérience est venue montrer la possibilité*). Enfin, l'extrémité des moises, déjà soutenue en porte-à-faux par des contre-fiches, vers l'aval, était encore consolidée par une corde en fil de fer partant de cette extrémité, s'accrochant à un assemblage supérieur, et roidie au tenseur; puis, des haubans toujours semblables aux cordes précédentes, partant du sommet, ou du deuxième étage au moins, de toutes les piles-culées à peu près, tant vers l'amont que vers l'aval, venaient s'enrouler au niveau du sol sur le tour à déclit d'un châssis solide et chargé de pierres, servant d'ancre d'amarrage, consolidant de la sorte toute cette forêt de bois contre les coups de vent ou toute autre cause quelconque de déversement dans le sens transversal.

Enfin, comme dernière précaution du même genre, les mâts des tours en charpente étaient invariablement reliés aux maçonneries des piles du viaduc définitif, au fur et à mesure que ces maçonneries s'élevaient, au moyen de petites moises scellées dans les murs par un bout, et boulonnées avec le mât à l'autre extrémité.

Un tablier général en madriers de $0^m,05$ d'épaisseur, cloué sur les longrines, tasseaux et fourrures rencontrés (*avec pointes de 65 au kilog.*), s'étendait à chaque étage sur le réseau des pièces du pont précédemment indiqué; sauf, bien entendu, à l'emplacement des trappes à volets mobiles et à charnières du plancher supérieur; puis encore, sur $3^m,25$ de largeur à l'aplomb des arcs-boutants du viaduc en maçonnerie, dans chacun des deux tabliers intermédiaires.

Des lattes coutelées et fixées par des clous sur les madriers

de chaque étage, mais seulement le long des avenues générales allant d'un bout à l'autre du viaduc, permettaient aux hommes de pousser avec plus de facilité les wagonnets, et surtout l'introduction des chevaux sur les échafaudages.

(56) Les éléments principaux des dépenses du pont de service peuvent être résumées comme il suit : 59^m,80 de longueur de ce pont, sur un peu plus de 50^m de hauteur, ou 2,990^m² de surface d'élévation, ont employé approximativement, savoir :

1° En charpente :

Bois rond et de recoupe...	10 ^{m3} ,02	}	d'où { Bois.. 0 ^{m3} ,17. p ^r 1 ^{m2} { Fer.. 1 ^k ,80.
Bois lavé à la scie sur toutes les faces.....	193 ^m ,92		
Dosses.....	10 ^m ,56		
Madriers.....	103 ^m ,56		
Bois grossièrement équarri.	190 ^m ,65		
Total de la charpente..	<u>508^m,71</u>		

2° En ferronnerie :

Fer forgé ordinaire.....	4,110 ^k ,00
Pointes de charpentier, etc.	499 ^k ,65
Fil de fer des câbles.....	772 ^k ,97
Total du fer.....	5,382 ^k ,62

(57) Ensuite, chacune des grandes grues (*les moindres en différaient très-peu*), capable d'enlever 4 à 5,000 kilog., malgré les porte-à-faux pesant elle-même à peu près 5,500 kilog. et permettant de monter à 15 mètres de hauteur, et par journée de dix heures, de 20 à 25 mètres de pierre (*mais ne donnant guère au viaduc que 10 mètres cubes à peu près en raison des temps perdus*), contenait, savoir :

1° En charpente :

Pour le chariot.....	0 ^m ,15
— les poutres supportant les premières emmanchures.....	0 ^m ,60
— les potelets.....	0 ^m ,32
— les jambes de force des côtés.....	0 ^m ,36
— — des extrémités..	0 ^m ,38
— les liens.....	0 ^m ,32
— les longrines portant le plancher....	0 ^m ,50
— les traverses sous le plancher et ses bouts.....	0 ^m ,28
— les grandes longrines sous les rails..	1 ^m ,20
— le plancher.....	0 ^m ,42
— le garde-corps.....	0 ^m ,50
Cube total de la charpente.....	<u>5^m,03</u>

2° En ferronnerie :

Fer et fonte de chariot.....	400 ^k
4 roues de la grue.....	472
8 coussinets de la grue.....	128
4 équerres fixées aux montants.....	48
2 jumelles servant de coussinets.....	56
4 — —	32
4 — —	40
8 jumelles adossées aux longrines.....	16
100 boulons de toutes grandeurs.....	200
Brides en fer mince.....	20
18 mètres linéaires de bridges rails.....	585
Tringle et manivelle de translation de la grue.....	20
1 fléau.....	33
2 tiras de consolidation par armature des liens des grues.....	30
Total du fer.....	<u>2,080^k</u>

Tours élévatoires. (58) Chaque tour élévatoire avait à chacun de ses étages un réservoir d'eau, soit pour les besoins du service, soit à titre de précaution contre les incendies (*deux fois renouvelés pendant la durée des travaux*); ce réservoir se trouvait alimenté par le château d'eau et les conduites indiquées au plan général du *Portefeuille*. Pl. — M. 5.

30^m,50 de hauteur de tour sur une largeur moyenne de 6^m,63, ou bien 202^m,83 de surface en élévation ont employé, savoir :

1° En charpente :

Bois ronds.....	0 ^m ,69	}	d'où {	Charp ^{te} ..	0 ^m ,254
Bois lavés à la scie sur toutes faces.....	12 ^m ,99				
Dosses.....	n				
Madriers.....	8 ^m ,39				
Bois grossièrement équa- ris.....	29 ^m ,56				
Total du cube de la char- pente.....	51 ^m ,63	}	p ^r 1 ^m ²	Fer	1 ^k ,82
2° En ferronnerie :					
Fer forgé.....	360 ^k ,00	}			
Pointes.....	9 ^k ,38				
Total.....	369 ^k ,38				

**Sommaire général
des moyens
d'action rassem-
blés.**

(59) Quant aux moyens d'action rassemblés par l'entrepreneur, et indépendants des dispositions générales qui viennent d'être décrites par dessins ou notes explicatives, on peut dire, en résumé :

1° Que la longueur totale des voies posées à propos de la longueur totale du viaduc s'est élevée à 25 kilomètres;

2° Que le nombre des ouvriers employés aux divers travaux

relatifs à cet ouvrage s'est élevé, par jour, jusqu'à 2,500, dont à peu près 400 maçons ;

3° Que le nombre de chevaux utilisés sur les échafaudages, ou bien entre les carrières et les lieux de dépôts aux abords du viaduc, a atteint 300 ;

4° Quo 6 machines à vapeur ont fonctionné à la fois, à certains moments, sur l'atelier, savoir : une locomotive remorquant des trains chargés de matériaux entre Mavault et le viaduc ; une seconde, employée comme machine fixe au montage de l'eau, et 4 autres machines, de 6 à 10 chevaux, fonctionnant dans les manéges, animant les treuils élévatoires ou bien encore l'outillage des ateliers d'ajustage, etc. ;

5° Que l'on a compté sur le pont de service 35 grues roulantes du moindre modèle, 11 du plus grand, et enfin 7 appareils de même espèce sur l'ensemble des divers chantiers et dans les carrières ; puis 200 wagonnets d'échafaudages, indépendamment des wagons et voitures ordinaires circulant aux abords de la Suize ;

6° Enfin, que le travail de nuit (*correspondant à 1,739,09 mètres cubes de maçonnerie seulement*) a nécessité, savoir :

2,300 journées de maçons, en nombre rond,
et 3,250 — de manœuvres.

CHAPITRE III.

QUALITÉS, LIEUX D'EXTRACTION ET PRÉPARATION DES MATÉRIAUX, DOSAGES ET FABRICATION DES MÉLANGES.

Sable pour
maçonneries.

(60) Le sable employé dans les mortiers provenait d'alluvions anciennes de la Marne.

Il était de nature exclusivement calcaire, graveleux, criant à la main, et généralement assez net de matières étrangères pour que, dans les circonstances les plus défavorables, le seul fait de l'extraction sous l'eau et à la drague suffit au lavage; donc la préparation consistait simplement, tant pour les maçonneries de remplissage que pour celles de parement, en un passage à la claie à mailles carrées de 0^m,01 de côté.

Gravier
pour béton.

(61) Le gravier pour béton sortait du même gisement que le sable, et de la même opération.

Chaux.

(62) La chaux était moyennement hydraulique lorsqu'on broyait en pâte avec elle les grumaux, assez nombreux et nous susceptibles d'extinction, contenus en sa masse. Dans le cas contraire, elle se présentait comme assez faiblement hydraulique.

(63) Analysée soit à l'état de chaux vive (*ou non fusée*), soit à l'état de calcaire marneux (*divisé en trois bancs distincts de la carrière*), elle a donné les résultats ci-après, dus à l'obligeance de M. le directeur de l'École des ponts et chaussées et de M. l'ingénieur Hervé-Mangon.

1^o Essai de la chaux non fusée.

NOTA. Cette chaux, d'un gris verdâtre, avait déjà absorbé un peu d'eau.

Silice.....	14,00
Alumine et peroxyde de fer.....	7,50
Chaux.....	70,70
Magnésie, très-faibles traces.....	,
Eau, acide carbonique et matières non dosées..	7,80
Total.....	<u>100,00</u>

Les pierres marneuses fournissant cette chaux étaient extraites de couches appartenant à l'*Oxford Clay*.

La cuisson du calcaire s'opérait à la houille et au feu continu.

Les fours, établis à 60 mètres des carrières, cubaient approximativement 5 mètres et fournissaient 3 mètres cubes de chaux par jour.

On éteignait la chaux immédiatement en pâte ferme. L'opération avait lieu, comme d'habitude, dans des bassins de 2 à 3 mètres de longueur.

6^m,70 de cette chaux vive donnaient 1 mètre cube de chaux éteinte en pâte ferme, absorbant un peu plus de ce même volume d'eau.

(64) Le ciment romain joint au mortier de chaux et sable pour en accélérer la prise (*au moment de la pose des clefs des grandes voûtes supérieures du viaduc, sous l'influence des premières gelées de la fin de 1856*) était l'espèce brune de Vassy-lès-Avallon. Mais, pour le rejointoiement des dallages en moellons bruts des arcs-boutants, on a préféré le ciment brûlé de Grenoble.

Ciment romain.

(65) Les mortiers de chaux et sable ont été composés, par mètre cube, de 0^m,45 cubes de chaux en pâte ferme et de 0^m,90 de sable.

Dosages des mortiers.

Le mortier de chaux, sable et ciment brun de Vassy con-

tenait $4/5^e$ du mortier précédent et $1/5^e$ de ciment mesuré en poudre.

Le mortier de ciment brûlé de Grenoble était formé de $1/3$ de sable et $2/3$ de ciment en poudre.

Enfin, par suite de circonstances accidentelles qui empêchèrent l'emploi du dernier mortier ci-dessus dans les scellements des gardes-corps en fonte, on a fait usage du mélange suivant (*espèce de ciment d'Aquin à force expansive modérée*) :

6	parties en poids de plâtre,
2	— limaille de fer,
$1/2$	— sel ammoniac,
$1/2$	— soufre.

(66) Tous ces mortiers paraissent solides et devoir résister complètement à la gelée; ainsi, le mortier de chaux hydraulique et de sable calcaire a supporté sans altération toutes les intempéries, et n'a pas tardé à acquérir une dureté véritablement remarquable; ce même mortier, mélangé avec le ciment de Vassy, et employé sous l'influence des premières gelées de 1856 à 1857, n'a cédé aucunement depuis; et, enfin, le mortier de sable et ciment brûlé de Grenoble a pris immédiatement toutes les qualités de la pierre la plus dure et la plus résistante aux chocs et aux frottements.

DOCUMENTS RELATIFS

▲ LA CONSTRUCTION

DU PONT SUSPENDU ÉTABLI SUR LE NIAGARA (1).

AMARRAGE.

L'amarrage fut commencé en septembre 1852 et composé de huit puits creusés dans le solido rocher calcaire qui forme en cet endroit la couche supérieure du terrain. Cette couche est solide à une profondeur de 4^m,267; puis s'étend une couche de calcaire schisteux reposant à son tour sur une couche solide. Trois des puits du côté de New-York sont creusés à une profondeur de 7^m.62. Le quatrième, au sud-est, n'a que 5^m,486, mais le roc en cet endroit s'est trouvé très-solide et sans fissure. Il n'a pas été creusé plus profondément, en raison de la grande affluence d'eau et de la difficulté d'épuisement. En conséquence, le chaînon inférieur fut supprimé et une plus forte prise donnée au reste au moyen de pierres adaptées sur les joints des chaînons et par l'introduction de barres transversales. A l'exception de ce puits, tous les autres, de chaque côté de la rivière, ont été creusés à une égale profondeur de 16^m,46 au-dessous de la voie de fer. La surface du roc, du côté du Canada, étant de 3^m,05 plus élevé que du côté de New-York, la profondeur du puits fut accrue d'autant, et la hauteur de la maçonnerie au-dessus diminuée en proportion. Chaque puits a une coupe de 0^m,914 $\times$ 2^m,134, et s'ouvre au fond en une chambre carrée de 3^m,44 de côté. Les chaînes de retenue se composent de neuf chaînons qui tous ont 2^m,134 de long, à l'exception du dernier ou supérieur, qui en

(1) Extrait du *MEMOIR of the Niagara falls suspension and Niagara falls international Bridge.*

a 3^m,05. Le premier chaînon ou chaînon inférieur se compose de sept barres, 0^m,178 $\times$ 0^m,356, et est fixé à une plaque de fonte par une clavette de 0^m,088 de diamètre. Le chaînon voisin se compose de six barres de même dimension et de deux demi-barres sur les côtés. La section totale de chacun est de 0^m,0444 carrés. Au-dessus du quatrième chaînon, la chaîne décrit une courbe et la section s'accroît graduellement jusqu'à 0^m,0598 carrés. Quatre de ces chaînes ont été fabriquées de loupes de Pensylvanie de la meilleure qualité et traitées au charbon de bois par Everson et Pereston de Pittsburg ; les quatre autres ont été faites à Napannock, compagnie d'Ulsser, New-York, par M. Frédéric Bange. Elles ont été fabriquées avec des saumons de Salisbury, puddlés au feu de bois. On peut compter sur ces deux sortes de fer pour une force de 4.5 tonnes par centimètre carré. Je les ai complètement essayées en coupant une certaine quantité d'excédants de barres et de clavettes et en les reforgeant de différentes façons. Tous les genoux attachés aux extrémités des tiges de suspension et des tirants en corde métallique, très-difficiles à forger, et demandant la matière de meilleure qualité, ont été faits de ce fer de Napannock.

La tension des différents chaînons de chaque chaîne diminue à mesure qu'ils descendent, l'effet produit sur ceux qui sont verticaux étant réduit de plus d'un tiers par suite de la position, du frottement et de la prise dans la maçonnerie. Le dernier chaînon est fixé à une plaque de fonte de 1^m,98 de côté et de 0^m,0635 d'épaisseur au bord et portant huit fortes nervures à sa face inférieure. La partie centrale à travers laquelle sont disposées les barres a une épaisseur de 0^m,3048. Lorsqu'une couche dans le roc a fourni le moyen de former un lit solide, la moitié de la plaque s'y appuie et l'autre moitié contre la maçonnerie. Après avoir assujéti la plaque et la chaîne, le puits a été entièrement rempli de maçonnerie à mortier de ciment et parfaitement jointoyée. Un grand soin a été donné au scellement des barres. Mon expérience m'a prouvé ample-

ment que le ciment prendra avec force sur le fer et le préservera de l'oxydation. Les barres furent bien enduites d'huile de lin, puis reçurent deux couches de blanc de zinc et de brun d'Espagne. Où il était impossible d'obtenir une surface solide, le toit de la chambre fut taillé en forme de prisme. La maçonnerie élevée sur la plaque presse contre ce toit à la manière d'un coin. De grandes pierres sont placées sur les joints des chaînons, de manière que chaque nœud ait prise dans la maçonnerie, au-dessus aussi bien qu'au-dessous de la surface du roc. Au-dessus du roc où les chaînes décrivent une courbe, chaque joint repose sur une plaque de fonte assise sur une grosse pierre de taille. Cette dernière repose à son tour sur une plus grande ou sur deux pierres plates qui distribuent la pression sur la maçonnerie inférieure. Aucun travail n'a été consacré à la façade des murs d'amarrage, mais l'intérieur a été consciencieusement exécuté pour assurer la solidité de l'ouvrage.

La section totale des chaînons supérieurs des quatre chaînes est de $0^m,24$ carrés, et leur résistance extrême, à 28,992 tonnes, égale à 10,785 tonnes. L'effort sur le chaînon inférieur est au moins diminué d'un tiers, ce qui laisse 7,190 tonnes. Cette pression, du côté de New-York, a pour résistance une masse de roc dont l'étendue n'est pas moindre que de $30^m,48$ en longueur, $21^m,34$ en largeur et $6^m,10$ en profondeur. Ce roc pèse environ $2^t,56$ par décimètre cube. Maintenant, supposons seulement $90^t,60$ de résistance dans le roc solide, nous avons une masse de $3959^m,156$ cubes opposée à une force de 12,684 tonnes, sans tenir compte de la maçonnerie superposée et du remblai. Dans l'hypothèse d'un roc plein de fissures et de veines, et tel n'est pas le cas, la parfaite sécurité de l'ouvrage est évidente.

Les grands et soudains changements de température auxquels cette localité est exposée, en même temps que le froid intense qui y règne quelquefois l'hiver, ont rendu nécessaire l'enveloppement dans la maçonnerie de toute la longueur des

chaînes. La température du fer est ainsi conservée plus uniforme. Les chaînes finissent au niveau du couronnement, endroit où elles s'unissent aux câbles, qui sont ainsi enfermés sur une hauteur de 3^m,658 dans le mortier à la maçonnerie, cette dernière se terminant en blocs ornementaux au-dessus du couronnement. La force du fil métallique n'est pas altérée par les changements soudains de température : les câbles n'exigent donc pas de plus amples précautions.

J'ajouterai ici que les plaques d'amarrage ont été fondues d'un très-fort métal traité au charbon de bois et à l'air froid à la fonderie d'Olivier T. Macklem, esq. à Chippewa, qui a fourni les fontes pour toute la construction.

MAÇONNERIE.

(Voir Appendice D.)

Le soubassement des piliers offre une surface rocheuse; les pierres sont grandes, bien liées et bien assises. Les assises du massif intérieur sont de pierres taillées, posées sur une couche épaisse de mortier de ciment et jointoyées. Dans le fût des piliers, on a donné une disposition uniforme aux assises en employant des pierres réglées de proportion. L'intérieur est construit avec le même soin que les parements. Pour accroître davantage la solidité de cet ouvrage, les assises supérieures ont été goujonnées. On peut se reposer entièrement sur la sécurité qu'offre cette maçonnerie : sans avoir beaucoup sacrifié à son apparence, rien n'a été négligé pour en garantir la solidité.

La base du soubassement, au niveau du tablier inférieur, est de 18^m,288 $\times$ 6^m,906, percée par une arche de 5^m,791 d'ouverture, et qui fait l'entrée du pont inférieur. Chacun des quatre piliers a pour base un carré de 4^m,572 de côté; leur hauteur est de 18^m,288 au-dessus de l'arche, et ils se termi-

nent par un carré de $2^{\text{m}},38$, ce qui donne au sommet une surface de $5^{\text{m}},9438$. La pierre calcaire dont cette maçonnerie est bâtie supporte une pression de 487,6 kilogrammes par centimètre carré, sans écrasement. Lorsque la plus grande charge qui puisse peser sur un pilier surpassera rarement 543,6 tonnes, il faudrait une pression de plus de 28,992 tonnes pour écraser la dernière assise.

Le soubassement et les piliers, du côté de New-York, ont un volume de $1032^{\text{m}},149$ cubes, pesant environ 2,718 tonnes. Ajoutons à cela le poids de la partie supérieure des piliers, de 906 kilog., et nous avons un total de 3,624 tonnes, en une masse compacte et solide. Pour la stabilité latérale, je me suis entièrement reposé sur ce poids et la direction centrale des forces qui agissent sur l'assise supérieure. L'inclinaison des tangentes des câbles de suspension coïncide, à très-petit de chose près, avec l'angle des câbles de terre; par conséquent, leurs tensions réunies produiront une pression verticale à travers l'axe de chaque pilier.

Quant à l'apparente pression latérale des câbles sur les piliers, le danger n'est qu'imaginaire et non pas réel. La position fortement inclinée des câbles supérieurs, ou du railroad, qui assure le remarquable degré de stabilité latérale si facile à observer sur le pont supérieur, semble produire en dedans une pression latérale à laquelle ne pourraient pas longtemps résister ces petites masses de maçonnerie. Cependant, lorsque l'observateur se place au sommet des piliers ou derrière l'amarrage, dans la direction des câbles de retenue, il s'aperçoit que tout est bien et tel que ce doit être. Une ligne, menée par le milieu entre les deux câbles de terre et prolongée vers le fleuve, se trouvera coïncider avec une ligne moyenne entre les tangentes des câbles de suspension; en conséquence, la force résultante des tensions réunies des câbles est maintenue dans un plan vertical qui passe à travers l'axe des tours. La projection horizontale des câbles sur le plan montre la parfaite sécurité de cette disposition. En reliant les piliers par une arche et

formant une sorte de porte, au lieu de deux piliers isolés, l'apparence du défaut de stabilité latérale aurait pu être évitée, mais le plan de la maçonnerie aurait été ainsi entièrement changé et la dépense plus que doublée, sans ajouter à la sécurité.

Le caractère de la maçonnerie d'amarrage est celui d'une forte maçonnerie brune, à ciment de mortier, et sans soins donnés à l'apparence extérieure.

CHEVALETS SUR LES PILIERS.

Au sommet de chaque colonne a été placée une plaque de fonte bien cimentée, de 2^m,438 de côté et de 0^m,0635 d'épaisseur, et renforcée de trois nervures parallèles qui reçoivent deux chevalets distincts. La surface supérieure de la plaque et celle inférieure des chevalets sont soigneusement dressées. Chaque chevalet repose sur dix rouleaux de fonte de 0^m,127 de diamètre et de 0^m,648 de long, tournés de la même dimension. Ils sont juxtaposés. La pression ordinaire sur chaque pilier étant d'environ 453 tonnes fait supporter 22^m,65 tonnes à chaque rouleau. L'objet de ces rouleaux est de permettre aux chevalets un léger mouvement toutes les fois que l'équilibre entre les câbles de terre et ceux de suspension est troublé, soit par des changements de température ou des passages de trains. Les rouleaux ont été faits d'un métal de grain très-serré, dense et homogène.

Nous avons indiqué dans le texte l'effet produit sur les chevalets par les différences de tension des câbles.

CABLES.

Il y a quatre câbles de 0^m,254 de diamètre, chacun d'eux composé de 3,640 fils métalliques de la petite dimension, de

8 à 10 fils par centimètre carré de section solide, ce qui donne à la section solide de chaque câble 0^m²,0388 carrés, sans compter l'enveloppe.

Le montage de ces câbles massifs demanda des dispositions nombreuses et assez compliquées. On a employé une machine brevetée pour la transmission à travers les rivières des fils métalliques. Cette opération, si bien connue maintenant, dura deux campagnes. Je bornerai donc mes remarques aux principes de cette opération seulement, pour montrer comment furent assurés une tension uniforme et un ouvrage parfait (1). L'apparence des câbles n'est pas seulement satisfaisante; la proportion de leur masse est aussi bien calculée pour inspirer de la confiance en leur force. On se demandera naturellement si la masse des fils est si bien formée que les différents en portent tous également. Chaque fil, pris séparément, est-il soumis à une tension uniforme, de telle sorte que, sous le poids d'une très-forte charge, ils résistent tous en masse jusqu'au dernier? A cette question on peut répondre affirmativement; on peut dire que la tension de ces 3,640 fils composant chaque câble est uniforme à ce point que je me crois autorisé à la dire parfaite. Les remarques suivantes vont faire mieux comprendre.

Chacun des quatre câbles se compose de sept câbles plus petits, appelés *torons*. Chaque toron contient 520 fils. L'un d'eux forme le centre et les six autres sont disposés autour. Les 520 fils qui composent chaque toron sont de fait un fil sans fin, obtenu en épissant un certain nombre de fils. Les extrémités des torons sont passées autour de croupières en fonte, qui reçoivent aussi la broche de fer forgé formant la jonction avec les chaînes de retenue.

Les torons furent fabriqués à peu près dans la même posi-

(1) Le fil métallique est fait de la meilleure qualité de fer, et chaque pièce a été soigneusement essayée avant de sortir des ateliers.

tion qu'ils occupent maintenant dans les câbles, avec environ le tiers de leur flexion actuelle, cela dans le but d'accroître la tension des fils et d'en faciliter l'ajustement (1).

Toutes les opérations préparatoires, telles que le huilage, le redressement, l'épissure et le dévidage, se firent sous un vaste hangar, du côté du Canada, derrière l'amarrage. Le procédé employé pour épisser a eu de nombreux témoins, et l'on a remarqué que le fil rompt sur tous les points avant que l'épissure ne cède. Quatorze énormes dévidoirs étaient constamment approvisionnés de fils tout préparés ou épissés, pour servir à la confection des câbles. La machine pour le montage des fils au-dessus de la rivière était mue au moyen de chevaux. L'ajustement des fils, au milieu de la portée, fut confié à deux ouvriers intelligents, se tenant sur une plate-

(1) C'est un fait important que le fer d'une qualité propre à faire le fil métallique acquiert par cette transformation une force ou une résistance à la tension presque triple. Ainsi, une tige de fer capable de supporter 30 quintaux, convertie en un fil d'une section trois fois moindre en surface, ou, ce qui est la même chose, d'une longueur triple de celle de la tige, supportera encore un poids de 30 quintaux. Les frais de transformation de la tige en fil sont minimes en comparaison de l'accroissement de longueur que l'on obtient. La dépense nécessaire pour réduire un fil au tiers de sa dimension première est, en moyenne, de 30 pour 100 du prix de la tige de fer, tandis que la longueur s'accroît de 300 pour 100. C'est ce qui a conduit à l'emploi si répandu des cordes métalliques pour les houillères, les rampes de chemins de fer, et, plus récemment encore pour les agrès fixes des navires, toutes applications qui donnent une grande économie sur l'usage des chaînes et des cordes de chanvre. L'avantage des cordes métalliques sur les cordes de chanvre, partout où elles peuvent être adaptées, consiste surtout dans une légèreté plus grande et un prix moins élevé. Une corde de chanvre capable de supporter un poids donné pèsera au moins deux fois et demi plus qu'une corde métallique bien faite de même force. Dans la fabrication des cordes métalliques, il est de la plus grande importance que les fils soient serrés ensemble de telle sorte que chaque fil séparément supporte sa part proportionnelle de la charge. MM. Newal et Co, de Gateshead, ont inventé et breveté une machine qui remplit parfaitement ce but. Nous apprenons que le temps de leur brevet est expiré. Ed.

forme suspendue par quatre cordes métalliques à environ quarante pieds au-dessus des tabliers supérieurs. Les ordres étaient communiqués au moyen de drapeaux, de signaux, et l'opération fut menée de la manière la plus satisfaisante, sauf les interruptions causées de temps à autre par la violence des vents. A cause de l'influence du soleil et des changements soudains de la température des fils sur les côtés opposés des torons, pendant la durée de leur confection, il fallut beaucoup de soin de la part des hommes placés sur la plate-forme. Ces circonstances et d'autres ont été prévues, et il y a tout lieu de croire que toute la différence de la tension qui peut exister n'excède pas quelques livres par fil. La tension d'un toron complet était d'environ 45,3 tonnes ou 90^k, 6 par fil simple. Deux torons étaient fabriqués en même temps, un pour chacun des deux câbles en cours de confection. Les fils une fois disposés, on les garnit de liens provisoires en fil métallique, de 0^m,23 en 0^m,23, pour tenir les fils serrés ensemble et leur conserver leur position relative; puis on les abaisse pour occuper dans les câbles leur position définitive. Après l'achèvement des sept paires de torons, deux plates-formes mobiles furent montées sur les câbles pour les recouvrir d'une enveloppe continue au moyen de machines brevetées à cet effet. Pendant le cours de cette opération, la masse totale des fils fut de nouveau recouverte d'huile et de peinture, ce qui, de concert avec l'enveloppe, doit les protéger efficacement contre l'oxydation.

453 tonnes du fil métallique employé dans les câbles ont été fabriquées par Richard Johnson and Brother, de Manchester, en Angleterre, et posées à l'entreprise par M. James Cocker et C^{ie}, de New-York. C'est rendre justice à ces deux entrepreneurs que de reconnaître ici qu'ils ont fidèlement observé toutes les conditions du traité qui leur avait été imposé. Il avait été spécifié (voir appendice E) que le fil, suspendu entre deux poteaux placés à 121^m,92 de distance, ne romprait pas à une flexion de plus de 0^m,229; de plus, que, plié à angle droit au moyen d'une forte paire de pinces, il serait redressé

sans cassure. La section du fil devait d'abord correspondre à une longueur de 13^m,65 au kilog., mais cette longueur fut portée ensuite à 12^m,11. L'épreuve ci-dessus correspond à une tension de 588^k,900 par fil simple, d'une longueur de 13^m,65 au kilogr., ou de 6^m,354 kilog. par centimètre carré de section. Les entrepreneurs livrèrent, pour être essayées, un certain nombre de couronnes, qui toutes furent acceptées. Ils approvisionnèrent alors une quantité suffisante de fer de la même qualité pour satisfaire à la commande, et il leur fut ainsi possible d'assurer une qualité uniforme. Lors de la livraison, les épreuves continuèrent avec les mêmes résultats favorables. A la suite de nombreux essais qui n'admirent que de légères différences, je trouvai que la flexion moyenne à laquelle avait lieu la rupture était de 0^m,20 à 0^m,25. Le fil mesure 12^m,32 par kilog.; la force ci-dessus équivaut, par conséquent, à 743 kilog. par fil simple, ou près de 7,060 kilog. par centimètre carré. Avec ce genre d'épreuve, le fil cède nécessairement au point le plus faible. Le résultat ci-dessus montre donc une remarquable homogénéité dans le fer et les soins apportés à la fabrication du fil.

En calculant sur la force moyenne ci-dessus, la force totale des 14,560 fils qui composent les quatre câbles sera de 10,816,915 kilog.; mais leur force réelle est plus grande, parce que les calculs ci-dessus sont basés sur la force *minima* de chacun des fils. Les points faibles des différentes couronnes ne pourront se rencontrer au même point. Réunis d'une façon serrée et compacte, ils se prêteront mutuellement un secours efficace. On peut donc sûrement estimer la force des câbles au-dessus des calculs ci-dessus. Nous pouvons considérer leur force totale extrême comme étant de 10,872 tonnes.

Immédiatement après les fortes tensions, les vibrations répétées et les secousses violentes sont la plus grande source de destruction de tous les métaux. Plus le fer est uniforme et dense dans son grain et dans sa texture, plus sera grande sa

durée. Le fil métallique de bonne qualité est d'un emploi sûr quand il s'agit de supporter de fortes tensions et vibrations. La corde métallique sur les plans inclinés, exposée à un usage violent et à un degré presque incalculable de vibrations, ne dure qu'un temps limité. Sa durée, toutefois, se trouvera être en rapport direct avec la vitesse de son travail et avec le degré de vibration qui en résulte. Des cordes métalliques de 0^m,0317 de diamètre, sur des plans inclinés tels que ceux de l'Alleghany Portago, en Pensylvanie, où la vitesse est maintenue entre 10 et 20 kilomètres à l'heure, où la machine est très-imparfaite et *continuellement* en mauvais état, ne dureront pas plus de un an et demi à deux ans, et passeront environ 271,800 tonnes, poids brut, sur des plans de 800 mètres de longueur et sur des pentes de un dixième. Des cordes de dimension moindre donneront cinq fois plus de travail sur les plans de la Compagnie des charbons de Pensylvanie et sur les pentes de la route de Carbondale, parce que les soins et le mécanisme sont bien supérieurs. Les cordes dont on se sert sur les plans inclinés du Morris Canal ont 0^m,0508 de diamètre; elles tirent des charges de 0,96 tonnes sur des pentes de un douzième, à une vitesse de 8 kilomètres par heure, et durent, en conséquence de la perfection du mécanisme et par le bon usage, de sept à huit ans. Ces faits sont rapportés pour montrer d'une manière concluante que la durée des cordes et des câbles métalliques est en raison de *l'usage*. La même corde durera beaucoup plus sous un effort *plus grand* se mouvant *doucement*, que sous un effort *léger* se mouvant plus vite. J'ai acquis de ce fait l'évidence la plus complète. L'expérience du fil métallique sur plans inclinés est citée comme fait extrême et par contraste. Les ponts suspendus devraient être construits de manière à être entièrement ou presque entièrement exempts de vibrations. Les câbles et les tiges de suspension du pont du Niagara n'éprouvent qu'une tension modérée, très-éloignée de leur extrême limite d'élasticité, et peuvent être considérés comme *sans mouvement*. Ils sont, de plus, bien protégés contre l'oxydation et dureront en conséquence un temps indéfini.

A l'appui de ce fait, j'en citerai un autre intéressant. Les petits câbles qui supportaient le pont provisoire élevé sous la direction de M. Ellet, et ensuite consolidé par M. Buchanan, avaient été exposés parfois à de fortes tensions et à de grandes vibrations. Le fil métallique, dans le principe, était très-bon, à peu près de la même qualité que celui des câbles neufs, et faits par le même fabricant. Lorsqu'on enleva l'ancien ouvrage, ce fil fut essayé, et sa souplesse et sa force furent reconnues avoir été à peine altérées, si peu vraiment que je n'hésitai pas à l'employer aux câbles neufs. Voici un autre fait digne de remarque. Le vieux câble mesurait de 0^m,032 à 0^m,055 de diamètre et avait été lié à des intervalles d'environ 0^m,23. Le fil avait été, dans le principe, bien enduit d'huile de lin, et les câbles ensuite peints à plusieurs couches de brun d'Espagne ou d'huile de lin à l'extérieur, ce qui les rendit impénétrables à l'eau. En les séparant, je trouvai encore l'huile à l'état humide, formant un vernis consistant, et je ne trouvai aucune trace d'oxydation. Ces câbles furent posés en 1848 et enlevés en 1854. Ils avaient donc servi six ans. Il est difficile d'établir combien de temps ce fil se serait conservé s'il était resté dans la même situation, servant au même usage. Le pont suspendu sur fils métalliques à Fribourg, en Suisse, le plus long en Europe, est encore considéré comme sûr. Il fut achevé en 1830. La chaussée du pont a 246^m,00 de long, pèse environ 272 tonnes et est supportée par huit câbles de 0^m,14 de diamètre, contenant en tout environ 4,700 fils. Sa force est donc, comparativement, de beaucoup inférieure à celle du pont du Niagara, en même temps qu'il est fréquemment exposé à de violentes tempêtes et n'est pas garanti des oscillations.

Les câbles métalliques, en tant qu'ils sont préservés des oscillations et ne seront pas exposés à des tensions excessives, peuvent être considérés comme d'une durée indéfinie. J'ai cité les cordes métalliques sur plans inclinés comme fait extrême à l'égard de la durée. Un fort frottement, une courbure trop prononcée, une vibration constante, une haute

tension, des chocs violents et répétés triompheront bientôt de la meilleure matière. Plus nous réduirons ces dangers, plus sera grande la durée. Les conditions de durée sont certainement des plus favorables aux câbles du pont du Niagara. Un exemple de grande durée comparative est fourni par les ressorts métalliques des sofas ; quand ils sont de bonne qualité, ils ne perdent pas leur élasticité par un usage fréquent pendant la durée d'une vie entière. Comme autre cas très-remarquable d'une grande durée, malgré un usage violent, nous pouvons citer les cordes métalliques de pianos, qui demeurent dans un état de forte tension et par là exposées à un degré incalculable de vibrations. Le fil ordinaire ne résisterait pas vingt-quatre heures à cette action. Aussi fait-on les cordes à pianos du meilleur acier ou de tiges fabriquées exprès dont l'extérieur est de bon acier et l'intérieur composé d'un fil de fer fibreux. Les bonnes cordes à pianos nous donnent un exemple remarquable du degré de force et d'élasticité que l'on peut obtenir par une qualité supérieure de force et d'acier. Je pourrais encore parler de la grande durée des ressorts d'acier dont on se sert pour la suspension des voitures et des wagons. On sait combien ils sont exposés à de violentes vibrations et à de constantes secousses, et combien est grande cependant leur durée. Dans tous les cas semblables de service extrême, l'on a observé que les sûres limites d'élasticité n'ont pas été surpassées ; autrement, la destruction s'ensuivrait bientôt. Des ponts d'un demi-mille de portée pour circulation ordinaire ou voie ferrée peuvent être construits en toute sûreté en se servant de fil de fer pour les câbles. Mais en lui substituant la meilleure qualité de fil d'acier, nous pouvons presque doubler la portée et apporter le même degré de sécurité.

FORCE DU PONT.

Les deux extrémités du pont reposent sur les falaises et sont ancrées dans le roc. En tant que supporté par les câbles,

on estime que son poids est de moins de 906 tonnes, y compris le poids des câbles entre les piliers et l'action des tirants placés sous le tablier inférieur. Pour plus de commodité, je considérerai ce poids comme étant de 906 tonnes. En multipliant par le facteur 1.81 (voyez appendice B), nous trouvons, pour la tension des câbles résultant de ce poids, 1639.86 tonnes. Leur force extrême a été constatée être de 10,872 tonnes; leur tension permanente est donc à leur résistance extrême comme 1639.86 est à 10,872 ou comme 1 : 6,63.

Les 64 tirants supérieurs ont une force extrême de 27.18 tonnes chacun, ou de 1739.5 tonnes en tout. Leur résistance moyenne est à leur force comme 1 est à 2.1/2, ou égale à 695.81 tonnes. Sans charge sur le pont, leur tension est d'environ 4.53 tonnes chacun; par conséquent, ils allègent

les câbles de $\frac{695.81}{4.53} = 153$ tonnes. Mais leur but principal

est de conserver l'équilibre de l'édifice sous de lourdes charges et d'assister les longrines et les treillis. Soumis à cette tension et maintenus en ligne droite, ils ne cèdent que peu sous les charges qui passent. Leur action est *en dedans* de la tangente des câbles, près des piliers, où la rigidité est le plus nécessaire. N'étant pas continués du côté de l'amarrage, ils ne sont d'aucun secours aux câbles de terre.

Des trains d'un poids de plus de 181.2 tonnes ne traversent le pont que comme essai, ou, dans tous les cas, très-rarement. Ajoutons un certain nombre de voitures et de personnes sur les deux tabliers, pesant en tout environ 45.3 tonnes, et nous avons un poids de 226.5 tonnes auquel le pont ne sera soumis que *par hasard*. Les poids qui passent ordinairement sont *au-dessous* de ce chiffre. La tension produite par ce poids est de $226.5 \times 1.81 = 410$ tonnes. Ajoutons la tension permanente de 1639.86 tonnes et nous obtenons 2049.37 tonnes auxquelles s'oppose une force de 10,872 tonnes, ou plus de cinq fois plus grande, sans tenir compte des tirants. Mainte-

nant l'expérience montre que le mouvement des trains et leur vitesse n'ont aucun effet perceptible sur les câbles, et que, dans tous les cas, ce mouvement sera plus que balancé de beaucoup par l'effet des tirants; nous pouvons donc compter sur la force entière des câbles et considérer les charges mobiles comme *en repos*. Il peut arriver que des poids beaucoup plus lourds viennent surcharger le pont par hasard, mais cela peut ne pas arriver une fois par an. Une foule de personnes et de voitures sur le tablier inférieur, pendant le passage d'un train fortement chargé au-dessus, peut ajouter considérablement à la tension ci-dessus; mais il y a un *excédant* de force pour faire face à cette circonstance. Ce qui est considéré comme le plus important pour la durée des câbles, c'est ce fait que leur force équivaut à près de six fois leur tension ordinaire sans charge. Une autre fait non moins important, *c'est que leur force ne sera jamais altérée par la vibration*. Dans le calcul de la force des ponts suspendus, il est d'usage d'admettre de trois à cinq fois la force extrême pour résister à une tension *maxima*. Cette règle est bonne pourvu que la charge maximum soit *forte* en proportion du poids de la construction. Mais si elle est *très-faible*, comme elle doit l'être dans les ponts suspendus pour chemins de fer, la règle est *mauvaise* en ce qu'elle accorde trop peu de force pour la tension permanente et ordinaire.

Il y a 624 tiges de suspension, chacune d'elles capable de supporter 27.18 tonnes, ce qui rend leur force totale égale à 16,960.32 tonnes. Le poids ordinaire qu'elles ont à supporter n'est que de 906 tonnes. Une locomotive du poids de 30.80 tonnes, avec son tender, répartit son poids, par le moyen des longrines et des treillis, sur une longueur qui n'a pas moins de 60 mètres. Naturellement la plus forte pression est sous la machine; mais elle n'y est pas supportée par moins de 20 tiges de suspension. Si, par un accident quelconque, un choc ou une secousse soudaine se produisait, la force des tiges y ferait face aisément. Quoique la tension des différentes

tiges ne soit en aucune façon aussi uniforme que celle des fils qui forment les câbles, vu l'impossibilité d'obtenir une action parfaitement égale, leur force est telle, cependant, qu'elles résisteraient facilement à un ouragan, si pareille épreuve les attendait.

EFFETS DES LOURDES CHAINES.

Chaque train qui traverse le pont produit un allongement momentané des câbles et, par suite, une dépression. Si le train est long, couvre le pont sur presque toute son étendue, et est chargé d'une manière uniforme, la réduction de la cambrure ou de la convexité de la chaussée sera uniforme. Si le train est court et ne couvre qu'une partie du tablier, la dépression sera moins *générale* et plus *locale*, et sera le résultat à la fois d'un allongement des câbles et d'un dérangement de l'équilibre. Les dépressions seront en raison *directe* des charges et en raison *inverse* de la longueur des trains. Après le passage d'un train, le tablier reprend son équilibre et se relève à son premier niveau. L'élasticité des câbles répond largement à cette épreuve et ne sera pas altérée par sa constante répétition. La partie en bois de l'ouvrage n'en sera pas non plus affectée. Le pis qui puisse arriver est un certain degré de relâchement dû au rétrécissement ou au jeu du bois, et auquel on remédiera facilement en resserrant les boulons. Mes observations depuis le 18 mars 1856 m'ont confirmé dans cette opinion.

Le jour susmentionné, le tablier à voie de fer fut ouvert par le passage d'un train d'essai à marchandises, composé de vingt wagons à toute charge, poussés par une machine de 23.55 tonnes, du dépôt du Canada au dépôt de New-York.

Le poids brut était estimé à.....	295.36 tonnes.
Tension des câbles en résultant.....	471.12 tonnes.
Section totale des câbles.....	0 ^m 2.1543 tonnes.
Donc, tension par centimètre carré.....	346 ^k .3
Donc, tension par centim. carré de fil simple...	37 ^k .15
Longueur moyenne des câbles et chaînes....	424 ^m .22

Allongement du fil par centimètre carré $\frac{1}{10.000}$ pour

157^k.81.

Allongement des câbles produit par 157^k.81. 0^m0414223.

Au moyen de ces données, nous pouvons maintenant trouver l'allongement des câbles produit par 295.36 tonnes.

$$157^k81 : 346^k.3 :: 0^m.0414223 : x \text{ et } x = 0^m0909.$$

La dépression du pont causée par cet allongement se trouve (appendice C)

$$x = \sqrt{\frac{3}{4}(z^2 - y^2)}$$

où z représente la moitié de la courbe, ou..	126 ^m 81
y représente la moitié de la corde, ou...	125.170
La flèche était de.....	17.53
L'allongement du câble entier.....	0.0909
La moitié	0.04545
Ajoutant la valeur de z.....	126.79680

on a valeur de z à substituer dans la formule. 126.84225

La substitution des quantités ci-dessus donne :

$$x = \sqrt{\frac{3}{4}(126.84225^2 - 125.170^2)}$$

ou x = 17^m782

Déduisant la première flèche..... 17.526

nous obtenons la dépression causée par la charge..... 0^m.256

La dépression alors observée à l'aide d'un instrument fut de 0^m.25. Le calcul et l'expérience concordent donc presque exactement.

Après l'éloignement de ce train, le pont se releva à son premier niveau. Des trains ordinaires de marchandises ou de forts trains de voyageurs causent une dépression de 0^m.08 à 0^m.12 qui résulte autant de l'allongement des câbles que du dérangement de l'équilibre. Un train à marchandises court et pesant produira autant ou plutôt plus de dépression qu'un train très-long de passagers ou un train de wagons vides d'un plus grand poids, par la seule raison que l'équilibre est plus troublé par un train court que par un long. La construction d'un pont suspendu qui ne se déprime pas sous de lourdes charges ou par un accroissement de température est impossible. Ces mouvements sont un résultat inhérent à la nature du pont suspendu et sont rendus sans danger par ses propriétés élastiques.

EFFETS DE LA TEMPÉRATURE.

D'après les expériences faites avec des fils métalliques de 304^m.8 de long, leur dilatation produite par un accroissement de température de 1° Fh^t est de $\frac{1}{146000}$ et, pour 100° de $\frac{1}{1460}$.

La longueur moyenne des câbles entre les chaînes est de 373^m.99. Par conséquent, leur dilatation pour 100° est de $\frac{373^{\text{m},99}}{1460}$, ce qui est égal à 0^m.2559. Maintenant, supposons que la flèche des câbles à une température de 0° soit de 17^m.37, nous trouvons la demi-longueur de la courbe des

câbles au moyen de la formule donnée dans l'appendice C.

$$z = \sqrt{y^2 + \frac{4}{3} z^2}$$

Substituons à x	17 ^m ,37
— à y, moitié de la corde	125.170
— On a $z = \sqrt{125.170^2 + \frac{4}{3} \times 1337^2}$	
— aux z =	126.7666

Maintenant, ajoutons l'accroissement de la demi-longueur des câbles, dû à 100°. 0.1280

Et nous obtenons la moitié du câble allongé..... 126^m,8946

Pour trouver la flexion due à cet allongement, appliquons la formule par x, appendice C.

$$x = \sqrt{\frac{3}{4} (z^2 - y^2)}$$

Substituons à z	126 ^m ,8947
— y	125 ^m ,170
Il vient :	

$$x = \sqrt{\frac{3}{4} (126^m,8947^2 - 125.170^2)}$$

Déduisant la flèche à 0^m.1737

La différence provenant des 100° est de 0^m.69

Donc un changement de température de 100° cause une différence dans le niveau du tablier de 0^m. 69 ; en quoi le calcul correspond à très-peu de chose près à mes observations.

Les tirants du tablier inférieur ou du côté de l'eau ont as-

sez de relâchement ou de flexion pour obéir à ces variations. La seule différence consiste en ce qu'ils sont plus serrés l'hiver que l'été, et par conséquent, en ce que l'équilibre du pont sera moins affecté par le passage des trains en temps froid qu'en temps chaud.

EFFETS DES GRANDS VENTS.

La destruction du pont de Weeling, par un fort vent, le 17 mai de l'année dernière, le plus grand désastre de ce genre qu'on ait rapporté, a naturellement fait élever des doutes sur la sûreté des ponts suspendus en général. Un journal scientifique remarqua à cette époque que la chute de ce pont serait considérée comme une preuve évidente et concluante de l'impossibilité de construire des ponts de grande portée. Quoique j'eusse de beaucoup préféré abandonner ce sujet, je ne puis pas consciencieusement le faire. Il est de mon devoir de montrer la sécurité qu'offre le pont du Niagara, qui déjà, dans le court espace d'un mois, est devenu un des passages les plus fréquentés de ce continent. Or, je ne puis pas atteindre ce but sans faire comparaison avec d'autres ouvrages et sans montrer les défauts qui ont causé la destruction du pont de Weeling, et, d'un autre côté, sans expliquer les moyens employés pour la sécurité du pont du Niagara.

Le pont de Weeling avait une portée de 307^m85 entre les centres des piliers; le tablier avait 292^m60 de long et 7^m92 de large en dehors des gardes-corps; son poids, avec les câbles, était d'environ 398 tonnes 64. Les câbles étaient au nombre de 12, renfermant en tout 6,600 fils du n° 10. A l'exception de deux petits tirants, sous le tablier, à chaque pilier, lesquels paraissaient avoir été placés après l'achèvement de l'ouvrage et se trouvaient détendus et sans effet, lorsque je l'examinai, il n'avait été pris dans toute la construction, à part la rigidité propre du tablier, aucune mesure effi-

cace pour arrêter les vibrations. C'est aux mesures prises pour faire reposer les câbles sur les piliers, au moyen de gros rouleaux, et à l'emploi du fil métallique en un certain nombre de petits câbles, plutôt qu'en un seul de forte dimension, qu'il faut attribuer le fait de la prompte communication des vibrations des câbles de suspension aux câbles de terre. Le mouvement causé par le passage d'un seul attelage se communiquait immédiatement à ces derniers. En conséquence de cette sensibilité, la grande force à laquelle se trouvèrent exposés les câbles de suspension le 17 mai se transmit pleinement à leur attache aux chaînes d'amarrage. Il en résulta qu'elles manquèrent du côté de Wheeling. Une personne compétente, témoin oculaire de ce fait, constata que les oscillations du tablier, causées par le vent, atteignaient une hauteur de 6^m10. Il peut y avoir là de l'exagération, mais aucune force ordinaire de câble ne peut résister à la puissance d'un pareil poids tombant même de 4^m55. La destruction de ce pont fut due évidemment à un défaut de stabilité, et non à un manque de force. On aurait pu remédier à ce défaut de rigidité au moyen de tirants par dessus, de treillis, de tirants par dessous ou de tirants de câbles. Si par ces moyens on n'avait pas obtenu un bien haut degré de rigidité, dans tous les cas ils auraient suffi à arrêter les oscillations ou à les renfermer dans de sûres limites. Au pont du Niagara, on a pris les plus amples précautions pour la stabilité. Le corps du pont formant une boîte ou poutre creuse de 7^m32 de large sur 6^m10 de profondeur, avec de solides longrines de 1^m52 d'épaisseur et de forts treillis, possède assez de rigidité pour résister à l'action d'un coup de vent, quel qu'il soit. Cependant, pour prévenir les circonstances les plus extraordinaires, il y a 56 tirants de corde métallique ou attaches fixées au tablier inférieur et qui sont ancrées soit dans le roc solide des bords de la rivière, soit à d'énormes masses de roc détaché. Chacune de ces cordes a une force extrême de 27 tonnes 18, et elles offrent conséquemment une résistance totale de 978 tonnes 48. Mais à cause de leur inclinaison, leur résistance effective ne dépasserait probablement pas 906 tonnes, si cette pression était

appliquée verticalement au tablier inférieur. La tension ordinaire de ces tirants ne dépasse pas deux ou trois tonnes. Or le poids du pont sans les câbles ni les.....
tirants est de..... 543 tonnes 6

Ajoutant l'amarrage à chaque extrémité du tablier inférieur, estimé à..... 271 » 8

La résistance des garde-corps au centre..... 90 » 6

La résistance des tirants..... 906 »

Total..... 1,812 tonnes.

Supposons qu'un ouragan exerce sa force sur toute l'étendue des deux tabliers à une intensité de 243 kil. par mètre carré de bas en haut,

La surface du tablier supérieur est de... 1,858 m. 06.

La surface du tablier inférieur..... 1,672 m. 25.

Total..... 3,530 m. 31.

Pression à 243 kil. = 857 tonnes 87, à laquelle pression s'oppose une résistance de 1812 tonnes. Aucun tourbillon d'ailleurs n'agira avec une force égale sur les deux tabliers à la fois, ni uniformément sur toute leur étendue. Avant que les deux tabliers fussent reliés ensemble, je remarquai que, pendant que celui inférieur était sensiblement agité par un coup de vent, l'autre ne laissait apercevoir aucun mouvement; la force du vent paraissait s'exercer au-dessous. A cause du coude formé par le fleuve, la rive du Canada est bien à l'abri, tandis que le côté opposé est ouvert à tous les vents. Pas le moindre mouvement, causé par les grands vents, n'a été remarqué depuis la connexion des deux tabliers. L'ouvrage a subi de fréquentes épreuves des vents violents qui soufflent dans cette région. Je suis convaincu qu'il est aussi à l'épreuve d'un ouragan.

Le tourbillon qui causa récemment tant de ravages dans la ville de Niagara et qui fut aussi très-fortement ressenti à

Lockport et à Rochester, n'exerça pas sa pleine force sur le pont. Son sommet était ou trop élevé ou trop au Nord-Est. On ne ressentit qu'un violent choc momentané qui fut accompagné d'une grande obscurité et ne dura que quelques secondes. Ce choc ne produisit pas le moindre mouvement sensible. Les tourbillons sont considérés généralement comme des tourbillons de vastes proportions, produits par la lutte de deux vents qui se meuvent en sens contraire dans les régions supérieures de l'air. Entraînés dans la direction du vent le plus fort, les deux forces en lutte se meuvent dans les limites d'un double cône, l'action la plus violente se produisant à la jonction des deux bases. Si cette hypothèse est vraie, le pont du Niagara n'aura jamais à éprouver la pleine force d'un ouragan. Les piliers peuvent être atteints par la sphère d'action, mais non le pont lui-même, ou du moins pas assez pour exercer sur lui une grande force de bas en haut.

EFFETS PRODUITS

PAR LE TROT DES CHEVAUX ET DES BESTIAUX ET PAR LA MARCHE DES HOMMES.

Telle est la question qui, immédiatement après l'effet causé par les grands vents, demande le plus de considérations. Le pont du Niagara donne lieu à une circulation considérable, variée. Les troupes de bestiaux, d'après le règlement, doivent être divisés par troupes de 20 têtes, et pas plus de 3 de ces troupes, en tout 60 animaux, ne doivent se trouver ensemble sur le pont. Chaque troupe doit être conduite par une personne qui devra la maintenir, dans le cas où elle prendrait le trot. En observant strictement ces règles et conditions, on épargnera au pont beaucoup de fatigue. En plusieurs occasions, j'ai remarqué l'effet désastreux produit par 20 grosses têtes de bétail lancées au grand trot. En me tenant pendant leur passage sur le pont inférieur, je n'aperçus aucun mouvement apparent dans le pont, je *sentis* un violent tremble-

ment accompagné de vibrations. Si la troupe vient à se porter toute d'un côté, en dehors du centre, l'effet produit est aussi latéral et par conséquent fortement ressenti par tout le pont. La grande stabilité inhérente de la construction résistera assez à cette action pour empêcher tout mouvement sensible à l'œil. Mais je constate ici que, dans mon opinion, un train pesant, lancé à la vitesse de 20 milles à l'heure, fait moins de tort à l'ouvrage que n'en causent 20 grosses têtes de bétail au grand trot. Les cortèges publics, marchant au son de la musique, ou des troupes de soldats marchant au pas produiraient un effet pire encore. Aucun pont, construit *sans égard* à la stabilité, ne résisterait longtemps à de pareilles épreuves. Le pont suspendu le mieux construit, aussi bien que toute espèce de construction en bois ou en fer, sans en excepter les ponts tubes, auront à souffrir de cette cause. Le pont suspendu de Cavington, en face Cincinnati, d'une portée de 550 pieds, élevé l'année passée et reconstruit depuis, est tombé sous le poids de 20 bêtes au trot.

Les remarques ci-dessus ont été faites en vue de corriger les idées populaires sur ce sujet, et aussi en vue d'attirer sur lui l'attention, afin que l'inspecteur du pont puisse être conduit à faire observer strictement les règlements déjà établis.

En concluant, je dois constater que la charpenterie fût confiée à N. D. Mekensie, en qualité de maître charpentier, qui l'année dernière fut grièvement blessé à l'enlèvement des vieux piliers de bois, du côté du Canada, et fut depuis assisté par M. L. Anson. La pose des fils métalliques a été dirigée par M. David Rhule. Pendant les deux premières campagnes, je fus assisté par W. O. Buchanan, Esq. et en dernier lieu par J. H. Fisher, Esq. agissant aussi en qualité de secrétaire de la Commission. J'adresse à tous ces Messieurs mes remerciements pour leur cordiale et efficace coopération à l'exécution de ce travail.

Dans ce Mémoire, où se trouve constaté l'heureux achève-

ment du pont, je ferais violence à mes propres sentiments si je ne saisissais cette occasion de remercier MM. le président et les directeurs des Compagnies des ponts suspendus internationaux du Niagara, pour la confiance inébranlable qu'ils n'ont pas cessé d'avoir dans mon habileté pratique. Lorsque des ingénieurs d'un talent et d'une réputation reconnus n'hésitaient pas à exprimer leurs doutes sur le succès de cet ouvrage, une indécision de leur part n'eût rien eu que de naturel. Je suis heureux de reconnaître ici que dans toutes mes opérations j'ai toujours rencontré un cordial appui. Ce m'est une grande satisfaction que cet ouvrage ait répondu à ce qu'on attendait de lui, et aussi de reconnaître la mutuelle confiance qui n'a pas cessé d'exister.

John A. ROEBLING.

NOTE.

La voie de fer est louée à la Compagnie de Great Western Railway, et le contrat porte que le pont sera inspecté et examiné par l'ingénieur du gouvernement des provinces du Canada, l'honorable L. H. Killaly.

Ci-dessus le certificat de cet officier adressé aux Compagnies respectives :

DÉPARTEMENT DES TRAVAUX PUBLICS.

Québec, 30 avril 1895.

MESSIEURS,

J'ai eu l'honneur, il y a quelque temps, de recevoir de M. Roebing une lettre par laquelle il me priait de désigner un jour où nous nous rencontrerions dans le but de procéder à l'inspection et à l'essai du pont

suspendu du Niagara. J'ai reçu aussi du Directeur gérant de la Compagnie du Great Western Railway une communication relative au même objet.

Ayant eu, à diverses reprises, occasion, pendant le cours de sa construction de juger et d'observer les soins scrupuleux et scientifiques donnés à tous ses détails, le choix, dans leurs genres respectifs, des meilleurs matériaux y employés, et les rigoureuses épreuves auxquelles il a déjà été soumis, je n'ai pas besoin de plus amples preuves pour me convaincre de sa stabilité et de ses bonnes conditions pour remplir le but auquel il est destiné. Je ne crois pas non plus nécessaire d'exiger de l'ingénieur de répéter la cérémonie de l'épreuve.

Les examens respectifs, que j'en ai faits de temps à autre, les épreuves qu'il a subies, les ingénieux et savants calculs faits sur sa force par M. Roebling, auprès duquel j'ai eu accès, me donnent l'entière conviction qu'avec un entretien convenable il demeurera un ouvrage sûr et durable, dont les principes, le plan et les détails de construction font le plus grand honneur à son auteur.

Je suis, Monsieur, votre obéissant serviteur.

HAMILTON H. KILLALY,

Commissaire adjoint des travaux publics, Canada

*Aux présidents et directeurs des Compagnies du pont suspendu
du Niagara:*

APPENDICES.

APPENDICE A.

TABLE DE QUANTITÉS.

Longueur du pont entre les centres des piliers.....	250 mètres 35 c.
Longueur du tablier entre les culées.	243 — 85
Nombre des câbles métalliques, 4.	
Diamètre de chaque câble.....	» — 254
Section solide des fils de chaque câble.....	0 ^{m2} — 0388
Section total des 4 câbles.....	0 ^{m2} — 1553
Section totale des chaînes d'amar- rage, chaînons inférieurs.....	0 ^{m2} — 1775
Section totale des chaînes d'amar- rage, chaînons supérieurs.....	0 ^{m2} — 2392
Force extrême des câbles.....	10,785 tonnes.
Nombre total des fils dans les 4 câbles.....	14,560
Force moyenne d'un fil.....	746 kil. 5
Force extrême de 4 câbles.....	10,872 —
Poids permanent supporté par les câbles.....	906 —
Tension résultante.....	1,639,860
Longueur des chaînes d'amarrage..	20 mètres 12 c.
Longueur des câbles supérieurs...	384 — 35
Longueur des câbles inférieurs....	363 — 63
Flexion des câbles supérieurs à une température moyenne.....	16 — 46

Flèche des câbles inférieurs.....	19 mètres 51 c.
Flèche moyenne.....	17 — 98
Nombre des tiges de suspension...	624
Force totale extrême desdites tiges.	16,960 tonnes 320
Nombre des tirants par-dessus...	64
Force totale.....	1,739 tonnes 520
Nombre des tirants par-dessous...	56
Force totale.....	1,431 tonnes 420
Élévation de la voie de fer au-dessus du niveau moyen des eaux.....	74 mètres 68 c.

APPENDICE B.

POUR TROUVER LA TENSION DES CÂBLES.

Soit x la flexion.

y la moitié de la portée.

P le poids des câbles et de la charge également réparti.

T la tension résultante.

La formule suivante donnera la valeur de la tension.

$$T = \frac{P}{4x} \sqrt{4x^2 + y^2}$$

Substituant à x 17^m98 à y , 125^m175,

$$T = \frac{P}{4 \times 17^m98} \sqrt{4 \times 17^m98^2 + 125^m,175^2}$$

$$\text{on } T = P \times 1,81.$$

La tension des câbles s'obtient donc en multipliant le poids P par le facteur 1,81.

APPENDICE C.

La longueur de la portée et la flèche étant connues, pour trouver la longueur des câbles calculée en parabole :

Soit y la $\frac{1}{2}$ longueur de la portée.

x la flèche.

z la $\frac{1}{2}$ longueur de câbles.

$$\text{Alors } z = \sqrt{y^2 + \frac{4}{3} x^2}$$

La formule suivante donnera la flèche, les longueurs de la portée et du câble étant connues

$$x = \sqrt{\frac{3}{4} (z^2 - y^2)}$$

APPENDICE D.

VOLUME DE LA MAÇONNERIE.

	Côté d'Amérique.	Côté du Canada.
Base des piliers.....	600 ^m 3940	350 ^m 3931
Arche.....	34 405	34 405
Piliers.....	390 688	390 688
Culée.....	115 448	117 742
Ailes et massif d'amarrage.	1533 697	889 177
	<u>2675^m3178</u>	<u>1782^m3943</u>

Les entrepreneurs furent invités à joindre leurs prix par yard cube de maçonnerie, chaque espèce de maçonnerie de chaque côté du fleuve, comme suit :

Côté de l'Amérique :

Par yard cube de maçonnerie pour la base
des piliers.....

Par yard cube de maçonnerie pour les
arches.....

Par yard cube de maçonnerie pour la culée.

Par yard cube de maçonnerie pour ailes
et massif.....

Côté du Canada :

Par yard cube de maçonnerie pour la base
des piliers.....

Par yard cube de maçonnerie pour les
arches.....

Par yard cube de maçonnerie pour les pi-
liers.....

Par yard cube de maçonnerie pour la culée.

Par yard cube de maçonnerie pour ailes et
massif.....

Le devis original était comme suit :

**Pour l'érection de la maçonnerie du pont suspendu
international du Niagara, pour chemin de fer et cir-
culation ordinaire.**

Il y aura deux piliers destinés à supporter des câbles mé-
talliques, sur chaque rive de la rivière, reliés entre eux par
une arche à leur partie inférieure. Ceux du côté de l'Amérique
auront environ 26^m,82, ceux du côté du Canada 23^m,77 de
hauteur. La base des piliers à partir des culées du pont aura
8^m,53 de hauteur du côté de l'Amérique et 5^m,49 du côté du
Canada, laissant aux piliers 18^m,29 de hauteur.

Type et maçonnerie des culées.

Cette maçonnerie doit être élevée en assises de 0^m,457 de hauteur et chaque assise composée alternativement de carreaux et de boutisses, comme il est indiqué au plan; les lits ou carreaux ne devant pas être de moins de 0^m,610 de large, la longueur des boutisses ne devant pas avoir moins de 1^m,52. La dimension des assises et la disposition, telles qu'elles sont indiquées sur les dessins, ne peuvent pas être modifiées sans l'expresse permission de l'ingénieur. Le parement de la pierre peut être laissé tel qu'à la sortie de la carrière, de façon à présenter une apparence rocheuse, excepté sous la voûte de l'arche, où les pierres doivent être smillées avec plus de soin et d'uniformité. Les lits et les joints doivent être taillés à l'outil, de manière à présenter une surface plane et égale, sans cependant être trop lisse ou trop unie. Ils doivent être parfaitement parallèles, d'équerre et à vives arêtes. Les joints doivent être serrés, et ne pas excéder 0^m,021. Chaque assise doit avoir son sommet de niveau, mais il ne sera pas permis de travailler sur le tas à la taille ou à l'aplanissement de la pierre. Il ne sera employé à cette maçonnerie que des pierres parfaitement saines et solides, et chaque pierre sera assise sur son lit de carrière.

L'intérieur doit être composé de blocs smillés, de même épaisseur et dimension que les pierres en parement. Ces blocs doivent être extraits comme pour la taille; ils doivent être smillés, dressés d'équerre à vives arêtes, sans faches et prêts à être mis en œuvre. Aucune petite pierre ne devra entrer comme remplissage dans l'intérieur de la maçonnerie, excepté, à l'occasion, pour boucher un trou ou pour assurer une bonne liaison. Aucun joint à l'intérieur ne devra avoir plus de 0^m,064 de large.

Toutes les pierres doivent être assises sur un lit de mortier de ciment et rejointoyées après l'achèvement de chaque assise.

Le fruit de cette maçonnerie doit être de $1/12^e$ d'élévation de tous côtés, excepté du côté auquel l'arche se rattache.

L'assise supérieure ou de couronnement sera formée de 4 pierres en parement, de chaque côté, avec l'intérieur y correspondant. La surface supérieure sera parfaitement de niveau et plane, et disposée pour recevoir la première assise de la maçonnerie des piliers.

Arches reliant les culées.

Elles auront 5^m,18 de large, et 4^m,57 de long. Les voussoirs, excepté à la naissance de l'arche, auront 0^m,914 de longueur, 0^m,305 d'épaisseur, et pas moins de 0^m,610 de large; ils seront à joints chevauchés. Les joints seront unis et bien aplanis. La tête sera rustiquée, avec une ciselure de 0^m,025 autour des bords, et la douelle intérieure disposée de la même manière. A la naissance de l'arche, les voussoirs doivent se rattacher à la maçonnerie des culées. La façade de la maçonnerie, au-dessus des reins, sera appareillée comme l'indique le dessin.

Piliers.

Ils auront 18^m,44 de hauteur, y compris les chevalets de fonte au sommet. La base sera un carré de 4^m,57 de côté, le sommet un carré de 2^m,44 de côté. Chaque pilier se composera de 30 assises; le plan pour chaque assise, la dimension de la pierre et la disposition au dehors aussi bien qu'à l'intérieur, sont ceux de la 5^e et de la 6^e assise alternées. La dimension décroît avec l'élévation, en raison du fruit des piliers. Un plan spécial d'appareil sera dressé pour chaque assise. Il ne sera permis en aucune façon de s'écarter des plans.

La base de chaque pilier a 1^m,83 de hauteur, et est à faces verticales. Elle sera de 3 assises égales. Les parements au-

ront une ciselure de 0^m,038 de large; le reste sera bouchardé, de manière à présenter une surface rude, mais uniforme, de rustique apparence. Les lits et les joints doivent être bien plans et former des joints serrés. L'intérieur sera aussi de pierres de tailles à bases unies et parallèles; mais les côtés n'ont qu'à être bien smillés d'équerre, et sans flaches. Les joints ne doivent pas dépasser 0^m,064 de largeur. Aucune petite pierre ne devra être employée en aucune façon. Chaque bloc à l'intérieur doit être d'une dimension correspondante à celle donnée au plan. La base se compose des assises n^{os} 1, 2 et 3. La 4^e assise n'a que 0^m,406 d'épaisseur et forme la moulure de la base. Un plan séparé sera donné pour cette assise.

Le fût du pilier est formé de 20 assises, numérotées de 5 à 24, d'un peu moins de 0^m,610 d'épaisseur. La disposition indiquée au plan pour la 6^e et la 7^e assises sera alternativement suivie. Les lits et les joints sur toute la façade doivent être bien adhérents; l'intérieur sera de même qu'à la base. La qualité de la pierre en parement sera choisie avec soin; elle doit être entièrement saine et solide, d'une texture et d'une couleur uniformes, sans veines, taches ni défauts. Les parements vus auront un cadre ciselé, et l'intérieur en sera piqué de façon à présenter une surface rustique plus fine que celle de la base, pour contraster avec elle.

Des plans séparés seront donnés pour les six assises supérieures composant le col, le chapiteau et le sommet, et qui auront une hauteur moyenne de 0^m,610. L'extérieur de ces assises sera taillé uni, comme aussi l'assise de la moulure, entre la base et le fût. Les ornements du col et du chapiteau seront taillés après la pose. Des soumissions séparées sont demandées pour ce travail d'ornementation. L'entrepreneur aura aussi à opérer le levage sur le sommet des piliers, des chevalets en fonte, et à leur établissement sur lit de mortier de ciment, d'après les indications qui lui seront données.

Culées entre les piliers et les ailes.

Elles ont 8^m,23 de long, 1^m,52 de large au sommet, et les côtés ayant un fruit de 1/12. La maçonnerie doit être, pour les parements, de pierres de taille à surface brute. Les assises seront de 0^m,305 ou plus, soit égales dans toute l'étendue, ou en diminuant de la fondation au sommet. La largeur des lits sera de moitié plus grande que la hauteur des assises. La disposition en carreaux et boutisses doit être régulièrement observée. Le massif intérieur sera composé de bonnes pierres brutes, grandes et plates, bien assises et bien liées, toutes les pierres seront maçonnées au ciment et les parements rejointoyés.

Maçonnerie des ailes et de l'amarrage.

Les murs en ailes commencent à une distance de 41^m,60 du centre des culées. Ils sont reliés par un mur de soutènement qui sert de culée à la travée adjacente. Le mur de soutènement a 13^m,72 de long au sommet et 1^m,52 de large, le fruit étant de 1/12 et formant 3 retraites de 0^m,23 de large.

Les murs en ailes ont 40^m,84 d'étendue. Sur une longueur de 13^m,41, ils ont 0^m,914 de large au sommet et servent de murs de soutènement pour maintenir le remblai. Le reste sert de mur d'amarrage pour les chaînes de retenue, et a 1^m,83 de large au sommet.

Le mur de soutènement, aussi bien que les ailes et les murs d'amarrage, sera bâti en bonne et solide maçonnerie par assises. Aucune assise n'aura moins d'un pied d'épaisseur, et les assises seront égales en hauteur ou iront en diminuant des fondations vers le sommet.

Les lits et les joints des pierres en parement doivent être équarris au marteau et sans flaches, sans autre préparation

à l'outil. La surface extérieure doit imiter le rocher. Une bonne disposition par carreaux et boutisses doit être observée dans toutes les assises des pierres en parement, aussi bien qu'à l'intérieur. L'intérieur doit être composé de bonne pierre plate, de dimension correspondante à celle des pierres en parement. Aucune pierre ne pourra entrer dans la maçonnerie intérieure.

L'intérieur de la maçonnerie d'amarrage doit être construit de grande pierre plate, solide et bien taillée, jointe avec soin dans toute l'étendue de l'ouvrage, surtout où doit agir la pression des chaînes d'amarrage. Chaque pierre doit être bien fixée dans son lit de mortier et ne plus être dérangée. La pression de chaque chaîne sera supportée par 5 grands blocs, sains, durs et solides, de 1^m,52 de long, 0^m,914 de large et pas moins de 0^m,46 d'épaisseur. Ces blocs doivent s'appuyer sur de fortes pierres d'au moins 0^m,15 sur 0^m,076, et dans la position indiquée au plan. Les lits des blocs supérieurs doivent être unis de surface, de même que les lits supérieurs des blocs d'appui; les côtés doivent être smillés et sans flaches.

Une plaque de fonte sera placée sur la surface taillée, pour le support de la chaîne. Une ouverture sera laissée autour de la chaîne pour être remplie d'un coulis de ciment à mesure que le mur s'élèvera.

Ce dernier travail n'est pas compris dans le marché pour la maçonnerie; il sera fait par la Compagnie ou comme travail supplémentaire. Les murs d'ailes et les murs d'ancrage devront être convenablement jointoyés après leur achèvement.

Ces murs, sur toute leur étendue, seront couverts d'un couronnement de pierres de taille de 0^m,914 de large et de 0^m,305 d'épaisseur, taillé en pente pour l'écoulement des eaux et maintenu par des crampons au sommet.

La pose du garde-corps en fer n'est pas comprise dans le marché pour la maçonnerie.

A leur jonction au sommet des murs, les chaînes d'ancrage et les câbles seront enveloppés de gros blocs de pierre, qui feront l'objet de marchés distincts.

Remarques générales.

Dans tous les cas, la première assise de la maçonnerie doit être établie sur un roc solide, et le lit doit être préparé et nivelé à cet effet. Ce travail est compris dans le prix de la maçonnerie.

Il ne faut pas laisser s'amonceler les ordures ou la poussière sur les murs, qui doivent toujours être maintenus en état de propreté.

Une grande quantité d'eau doit être employée à conserver la pierre humide et à faciliter son adhérence au mortier de ciment. Cette mesure aura plus particulièrement son effet en temps sec.

Le dressage ou la taille de la pierre ne sera pas permis sur le tas. Si une pierre est trop grande et a besoin d'être entaillée, elle doit être enlevée.

D'autres indications seront données, lors de la construction, par l'ingénieur ou l'inspecteur de la maçonnerie qu'il pourra désigner.

Ciment.

Tout le ciment employé pour mortier au coulis doit être de la première qualité de ciment hydraulique; sa fabrication ne doit pas remonter à plus de trois mois lors de son emploi; il doit être livré en barriques bien fermées et emballé dans du papier,

Le sable destiné à être mêlé avec le ciment doit être de bon sable de carrière, fin et propre; il sera lavé au besoin. Le mortier sera communément dans la proportion d'une partie de ciment et de deux parties de sable, à moins d'autres indications. Le mortier de ciment ne sera pas préparé plus d'une heure avant l'emploi; en temps sec et chaud, il sera maintenu et remué jusqu'au dernier moment. Tout mortier préparé depuis plus d'une heure, ou ayant passé la nuit, ne pourra être employé. Il doit être enlevé. Le coulis doit être préparé au moment même de l'emploi.

Autres stipulations.

Au cas où l'entrepreneur, dans l'opinion de l'ingénieur, ne se conformerait pas pleinement et entièrement à toutes les conditions ici stipulées, ledit ingénieur, à son gré, peut le congédier, et le traité passé entre l'entrepreneur et la Compagnie devient nul et non avenu. Tout droit au solde d'ouvrage fait ou de matériaux fournis qui pourraient être dus sera perdu; ils deviendront de droit la propriété de la Compagnie, comme dommages pour rupture du traité. L'ingénieur peut aussi employer d'autres entrepreneurs pour hâter l'achèvement de l'ouvrage en totalité ou en partie, lorsque, dans son opinion, cela deviendra nécessaire pour assurer l'achèvement de l'ouvrage dans le temps donné. L'entrepreneur n'aura point droit de sous-traiter ou de céder aucune partie du travail, sans la connaissance ou le consentement de l'ingénieur. A la demande de l'ingénieur, l'entrepreneur sera tenu de congédier tout ouvrier à son service dont le travail ou la conduite laisserait à désirer.

La pierre pour la maçonnerie du côté du Canada doit être tirée de ce côté, et, pour le côté de l'Amérique, de ce dernier côté. Aucune pierre ne doit être extraite à une distance moindre de 60 mètres en amont et en aval de l'emplacement du pont, sur les bords de la rivière.

La pierre pour les piliers et la maçonnerie, du côté de l'Amérique, peut venir de Lockport.

Toute la maçonnerie doit être achevée dans l'année, à partir de l'époque de la signature du traité.

Pendant la durée de la construction, il sera dressé par l'ingénieur des situations mensuelles de l'ouvrage fait et des matériaux livrés à pied d'œuvre. Il sera alors payé par les Compagnies du pont, à l'entrepreneur, en valeurs ayant cours, 80 pour 100 de la valeur du travail. Lorsque, à l'entier achèvement de la maçonnerie, l'ouvrage aura été définitivement reçu par l'ingénieur, les Compagnies du pont feront à l'entrepreneur, ou à ses agents accrédités, un dernier paiement pour solde du montant à lui dû sur les situations.

APPENDICE E.

PROPOSITION POUR 453 TONNES DE FILS MÉTALLIQUES.

Par le soussigné, pour la Compagnie du pont international de la chute du Niagara, pour la construction des câbles de fil métallique du pont suspendu pour chemin de fer, de plus de 244^m,00 de portée, à ériger sur la rivière du Niagara, en aval de la chute; pour la livraison de 453 tonnes de fil de fer, ou partie de ladite quantité, de pas moins de 45 tonnes, à pied d'œuvre, aux conditions :

1^o Le fil doit être de la dimension n^o 10, c'est-à-dire de 13^m,50 au kilog., poids juste;

2^o Les couronnes pèseront au moins 7^k,615. Une offre de 13^k,60 à 18 kilog. serait préférée;

3^o Le fil doit être lisse et d'égal calibre;

4^o Il sera fini en trois trous et presque aussi dur que du fil à ressort;

5° Le fer doit avoir été fait de loupes de la meilleure qualité et donner un fil dur, possédant beaucoup d'élasticité, de force et de souplesse ;

6° Les loupes auront été faites de minerai traité au charbon de bois et séché à froid ; ce dernier ne devra pas avoir été traité à l'anthracite, ni séché à chaud ;

7° Il sera exigé à l'avance des preuves satisfaisantes de la qualité du fer dont le fil sera formé ;

8° Le fil doit être étiré sur des blocs d'au moins 0^m.61 de diamètre ;

9° Il doit être mis en rouleaux de 90 kilog., autant que possible, sans faibles couronnes ;

10° Le fil doit être livré en cinq portions égales, pendant les mois de mai, juin, juillet, août et septembre de l'année prochaine ;

11° Lors de la livraison, le fil sera examiné et éprouvé de la manière suivante : par cinq rouleaux ou 453 kilog., on choisira une couronne ; le fil en sera suspendu entre deux poteaux éloignés de 122^m.00, et une extrémité sera attachée à un cabestan, par lequel il sera graduellement tiré jusqu'à ce qu'il rompe. Maintenant la condition est celle-ci : le fil ne doit pas rompre à une flexion supérieure à 0^m.23, qui équivaut à 580^k.430 ou à 6325 kilog. par centimètre carré de section solide de fer. S'il supporte cette épreuve, l'examen continuera pour les autres qualités requises. Autrement il sera rejeté et mis à la disposition du fournisseur ;

12° Pour la souplesse et la ténacité, chaque extrémité des couronnes sera éprouvée en la pliant à angle droit au moyen de pinces neuves plates et en la redressant. Le fil doit soutenir cette épreuve sans la moindre trace de cassure. Sa ductilité et son élasticité seront en même temps essayées en le ployant et le faisant vibrer ; il sera aussi essayé au marteau

et à la lime, et par des encoches aux extrémités, ce qui constitue une partie de l'opération de l'épissure ;

13° Les lots qui auront supporté ces diverses épreuves d'une manière satisfaisante seront reçus sous condition, et 80 pour 100 de leur valeur seront payés alors au fournisseur en valeur de banque ;

14° Le payement des 20 pour 100 sera fixé à quatre mois de là. Si, dans cet intervalle, pendant la construction des câbles, quelques couronnes se trouvaient être défectueuses, elles seraient rejetées et mises à la disposition des fournisseurs, brisées ou entières, huilées ou non, dans les conditions où elles se trouveraient arrivées dans le cours des travaux. La valeur de ce fil et le travail sur lui dépensé seront alors déduits des 20 pour 100 retenus ;

15° Le soussigné, en qualité d'ingénieur du pont, sera seul juge des épreuves ci-dessus mentionnées ; il agira comme arbitre impartial entre le fournisseur et la Compagnie, et sa décision sera sans appel ;

16° Des propositions pour fil importé seront acceptées. La moitié, ou 227 tonnes, sera employée du côté du Canada et peut-être entreposée si l'importation se fait par voie de New-York ;

17° Les propositions seront reçues jusqu'au 1^{er} octobre prochain ; elles doivent être adressées au soussigné à la chute du Niagara, New-York, et porter sur l'enveloppe : « *Proposition pour fils métalliques pour pont.* »

18° Les fournisseurs dont les propositions seront acceptées en seront informés par la malle avant le 10 ou le 10 octobre prochain.

John A. ROEBLING,

Ingénieur du pont suspendu pour chemin de fer
de la chute du Niagara.

Chute du Niagara,
New-York, 5 août 1852.

NOTICE

SUR

LE VIADUC DE NOGENT-SUR-MARNE.

§ 1^{er}. — Description générale.

Sans essayer de répondre aux critiques publiées dans les *Annales des ponts et chaussées* par M. Beaudemoulin, sur le mode de fondation et sur le mode de décintrement du grand pont de Nogent, nous croyons utile de publier *in extenso* le Mémoire suivant, qui nous a été fourni par M. Pluyette, ingénieur de ce beau travail. Nos lecteurs y trouveront de précieuses indications sur l'exécution de ce grand pont, qui, par les dimensions de ses arches, dépasse tout ce qui a été exécuté jusqu'à ce jour, du moins pour des ponts à plusieurs arches.

Le viaduc de Nogent-sur-Marne se compose de deux ouvrages en maçonnerie de style complètement différent; le premier, ou viaduc proprement dit, rentre dans la catégorie des ouvrages du même genre exécutés sur plusieurs de nos chemins de fer; il se compose de deux parties et comprend trente arches de quinze mètres d'ouverture, dont vingt-cinq sur la rive droite de la Marne et cinq sur la rive gauche. Entre ces deux viaducs est un pont, également en maçonnerie, ayant quatre arches de cinquante mètres d'ouverture chacune. Ce second ouvrage diffère donc par ses dimensions de ceux que l'on a exécutés jusqu'à ce jour.

Viaduc.

L'ensemble de ces ouvrages forme le viaduc de Nogent-sur-Marne.

Toutes les arches sont en plein cintre. Le viaduc sur la rive droite est divisé en cinq travées de cinq arches, par des piles culées armées de contre-forts dont la saillie est utilisée pour former sur la voie des petites gares servant à la pose des poteaux télégraphiques et au dépôt des coussinets, coins, chevilles, et des outils des ouvriers employés à l'entretien de la ligne. La partie submersible de la vallée s'étend sous quinze arches du viaduc sur la rive droite, et sous deux arches seulement sur la rive gauche. A la hauteur des plus grandes eaux connues de la vallée, les piles portent un socle dont sont privées les piles qui sont en dehors de la partie submersible.

Les piles simples du viaduc ont 3 mètres d'épaisseur à la naissance, les piles culées 4 mètres; elles ont toutes un fruit dans chaque sens, de $1/20^e$.

Chaque pile porte, à la naissance des voûtes, une imposte qui règne sur les têtes et sous douelles. Cette imposte a 0^m,665 de hauteur et une saillie variable suivant la distance de la naissance des voûtes au sol. Le profil le plus saillant de la figure est celui de la plus grande partie des impostes. Les contre-forts des piles culées ont 2^m,00 de largeur et 0^m,55 de saillie à leur partie supérieure, sur le nu des tympans qui sont verticaux. Ils ont un fruit extérieur de $1/20^e$, mais leurs faces latérales sont verticales et interrompent les impostes des piles culées.

De la naissance au socle, le fût des piles a 13 mètres de hauteur. La corniche et le socle sont profilés sur les contre-forts.

Les parapets ont 1^m,20 de hauteur au-dessus de la cor-

niche, qui a 0^m,65 d'épaisseur et une saillie variable qui est de 0^m,60 sur presque toute la longueur de l'ouvrage. Les socles ont 0^m,335 de hauteur et 0^m,222 de saillie.

L'archivolte des arches de 15 mètres a 0^m,70 de hauteur, les clefs et contre-clefs du viaduc ont 0^m,95 de hauteur et se raccordent avec les moulures de la corniche.

Les trois premières travées du viaduc sur la rive droite, et la travée sur la rive gauche, sont en courbe de 1,000 mètres de rayon ; les autres travées et le pont sont en ligne droite.

Le viaduc et le pont sont séparés par des contre-forts de 9^m,25 de largeur correspondant aux culées du pont. Ces contre-forts accusent nettement la différence des deux styles, qui ne pouvaient avoir d'analogie eu égard aux dispositions complètement différentes des deux ouvrages.

Le pont proprement dit se compose de quatre arches en plein cintre de 50 mètres d'ouverture, dont la naissance est au niveau de l'étiage de la Marne.

Pont.

Les piles du pont ont 6 mètres d'épaisseur à la naissance ; la pile en rivièro a deux musoirs ou demi-tours servant d'avant et arrière-becs ; ces musoirs n'existent pas aux culées et aux piles placées dans l'île ; ils ont été remplacés par des avant-corps saillants reproduisant les mêmes lignes en élévation. Les piles et culées sont armées de contre-forts dont le fruit extérieur est de 1/20^e, et dont les faces latérales sont verticales. Ces contre-forts s'arrêtent, d'une part, à la corniche, et de l'autre, aux chapeaux des avant-corps des piles et culées.

De petites gares correspondent sur la voie aux contre-forts ; il en a été ménagé aussi au-dessus des clefs de voûte ; à cet effet, les saillies des clefs et contre-clefs ont été disposées de manière à introduire une saillie correspondante de la corniche et des parapets, et à fournir un motif de décoration des voûtes.

Les tympans sont verticaux; les voussoirs forment un bandeau régulier ou archivolté de 1^m,80 de hauteur; la corniche a 0^m,65 d'épaisseur et 0^m,60 de saillie comme au viaduc; le parapet a 1^m,20 de hauteur au-dessus de la corniche; les moulures du parapet de la corniche règnent sans interruption sur toute la longueur de l'ouvrage. Au-dessous de la corniche, les contre-forts du pont sont ornés de modillons; ce motif est rappelé dans la décoration des clefs. Les clefs sont pendantes de 0^m,20, et ont 2^m,35 de hauteur, y compris la tablette placée entre la volute et les modillons.

Pont et viaduc
réunis.

L'édifice a, dans son entier développement, 830 mètres de longueur et 29 mètres de hauteur au-dessus de l'étiage de la Marne. La largeur entre les parapets est de 8 mètres, et celle entre les têtes de 8^m,90.

Le pont compris entre les deux portions de viaduc traverse obliquement la vallée; l'axe des voûtes fait avec le courant un angle de 23 degrés environ: les arches extrêmes, sur les deux bras de la Marne, sont pourvues de chemins de halage. L'intervalle entre les têtes n'est pas plein; des voûtes dites de décharge ménagent des vides, et cette disposition contribue à diminuer la pression sur les voûtes et sur les piles. Dans le viaduc, les voûtes de décharge sont parallèles aux voûtes principales, sur les reins desquelles elle s'appuient; elles se rapprochent beaucoup du plein cintre. Les eaux pluviales qui tombent sur la voie coulent sur les voûtes principales et les voûtes de décharge, et se réunissent aux lignes de rencontre de ces voûtes; des pentes et contre-pentes sont ménagées sur chaque intersection pour que l'écoulement ait lieu par deux tuyaux traversant les voûtes de décharge: les eaux continuent à couler sur les extrados des voûtes principales, où deux petits bourrelets forment une rigole correspondante à chaque tuyau et se réunissent également en deux points à la rencontre de deux voûtes principales voisines, et tombent au dehors par deux séries de tuyaux traversant les voûtes principales.

Dans le pont, les voûtes de décharge sont perpendiculaires aux voûtes principales. Elles sont petites, et les ouvertures varient de manière à faire correspondre la position des pieds-droits à celle des rails de la voie. Ces pieds-droits, à cause de leur hauteur, sont reliés entre eux par des voûtes, ce qui constitue un système de voûtes de décharge composé de quatre étages des voûtes superposées; celles du milieu ont 1^m,44 de diamètre, celles qui sont à droite et à gauche des précédentes ont 0^m,90 d'ouverture; les voûtes placées aux extrémités viennent s'appuyer sur les tympans et les contreforts. Les eaux descendent le long des pieds-droits des voûtes de décharge, se réunissent en deux points à l'étage inférieur, et sortent à l'extérieur par des tuyaux traversant les voûtes principales.

Des cheminées placées à la partie supérieure des voûtes des décharge du viaduc et du pont permettent d'y descendre de la voie; dans celles du pont, il y a des portes et des ouvertures pour descendre à tous les étages de voûtes.

Dans les quatorze arches les plus élevées du viaduc et les quatre du pont, des tuyaux ont été placés près des points les plus élevés de la rencontre des voûtes de décharge et des voûtes principales, pour passer des cordes destinées à supporter des échafaudages volants en cas de réparation qu'il pourrait être nécessaire de faire aux voûtes. Ces cordes pourraient être facilement amarrées dans l'intérieur des voûtes de décharge, et même être enroulées sur de petits treuils. On a ainsi créé la possibilité de trouver deux points d'appui à diverses hauteurs sur la largeur des voûtes, ce qui fournira quatre points d'appui en y comprenant les parapets. En cas de réparations à faire aux douelles, on aura pour les arches les moins élevées du viaduc les moyens ordinaires, savoir : des échelles pour atteindre les saillies des impostes et des corniches, ainsi que les parapets; pour les arches les plus élevées du viaduc où les échelles fixes seraient insuffisantes, on prendrait les points d'appui sur la saillie des impostes,

celle des corniches et des parapets, et aussi sur quatre points de la douelle; pour le grand pont, où la défense d'échafaudages ferait ajourner les réparations tant qu'elles n'auraient pas acquis une grande importance, on trouvera douze points d'appui sur chaque voûte, outre ceux que présentent les parapets, les corniches, les chemins de halage, le terre-plein de l'île, les saillies de la fondation de la pile en rivière et les bateaux.

Les angles saillants et rentrants, les impostes, les socles et musoirs des piles et culées, les parapets, moulures et corniches sont en pierre de taille; les douelles, tympans et parements des pieds-droits sont en meulière piquée; les maçonneries de remplissage du viaduc sont en moellons de Saint-Maur; celles du grand pont en meulière brute. Le mortier employé au viaduc est le mortier ordinaire de chaux hydraulique et sable de carrière provenant des terrains avoisinants; la chaux provenait de Tournay, des fours de MM. Dumont et C^{ie}. Le mortier employé dans les voûtes principales et accessoires du grand pont était composé de ciment romain fourni par M. Gabriel, et de sable de Seine, suivant des dosages variant depuis 750 kil. de ciment et 0^m,75 de sable jusqu'à 225 kil. de ciment et 1^m,00 de sable.

Après cette description générale de l'ouvrage il est utile de donner des détails sur les fondations, les travaux accessoires nécessaires à la construction de l'ouvrage principal, les dispositions du chantier, et enfin sur les prix de revient. Tel est l'ordre qui sera suivi dans les paragraphes suivants.

§ 2. — Des fondations.

La vallée de la Marne présente sur plusieurs kilomètres, tant en amont qu'en aval du chemin de fer, une disposition alternative très-remarquable des argiles et du gravier. Lorsqu'une berge est en argile, elle a une forte déclivité le long

de la rivière et forme un mamelon d'environ 20 mètres de hauteur; alors la berge opposée est plate et formée de sable et de gravier; l'argile et le sable changent alternativement de rive; il résulte de ces alternatives, que de distance en distance il y a des points de passage de l'argile au gravier qui se correspondent sur les deux rives.

Le viaduc de Nogent est établi à l'un de ces points de passage; sur la rive droite, la berge est plate et le gravier s'y trouve; il affleure à environ deux kilomètres en amont du chemin de fer et disparaît à peu de distance en aval, au-dessous de l'argile qui s'élève pour former le mamelon sur lequel est bâti Nogent-sur-Marne, puis la partie du bois de Vincennes dite coteau de Beauté, et s'abaisse ensuite après Joinville en rejoignant la plaine de la Varenne, où le sable affleure de nouveau. Sur la rive gauche, au contraire, en face de la plaine sablonneuse qui s'étend en amont de la ligne, est le coteau occupé par Noisy-le-Grand, Petit-Bry et Villiers-sur-Marne. Ce coteau s'abaisse à peu de distance en amont de la ligne où le gravier commence à paraître et se développe vers le Tremblay et Champigny. Cette disposition alternative se remarque sur de grandes distances en remontant le cours de la Marne; en le descendant, on arrive de suite à son embouchure. Ainsi la ligne rencontre le gravier sur les deux rives de la Marne, quoique à des profondeurs variables. Sur la rive droite, dans la partie submersible, les fondations sont établies sur le gravier incompressible et très-pur, dont la profondeur varie de 3^m,00 à 3^m,50 dans la partie supérieure de la vallée, à 13^m,00 dans la partie la plus basse, l'île des Loups. Dans la partie non submersible, les fondations sont établies sur une argile jaune, ocreuse, compacte, dont la profondeur varie de 1^m,50 à 3^m,00; sur la rive gauche, également dans la partie insubmersible, les fouilles ont été descendues à peu près à la même profondeur jusqu'à une argile bleuâtre, compacte, contenant un suintement; cette argile forme une masse très-inclinée, comme le coteau, et jouit essentiellement des propriétés de glissement des argiles mouillées. Le suintement se

fait par une faible couche de sable de 0^m,10 à peine d'épaisseur, et toute la masse qui était au-dessus s'éboulait lorsqu'on ouvrait la fouille. Pour éviter le délavement de l'argile placée sous le banc du suintement, et, par suite, le glissement des maçonneries qui devaient être assises sur cette argile, le suintement a été recueilli dans une rigole qui entoure les piles 33 et 34 du viaduc, rive gauche, et débouche en amont et en aval de l'ouvrage dans les talus de la berge.

Tout l'ouvrage est fondé au moyen d'une couche de béton placée entre la maçonnerie et le sol jugé suffisamment résistant. L'épaisseur de cette couche de béton est très-variable; elle n'est, dans certains cas, que de 0^m,20 à 0^m,25, et alors le béton ne sert qu'à assurer une assiette bien régulière aux maçonneries. Dans la partie inférieure de la vallée, le béton est destiné à former un massif résistant, une maçonnerie sous l'eau sur laquelle repose l'ouvrage; son épaisseur varie et dépend de la profondeur du banc de gravier au-dessous du niveau de la rivière. Le béton est alors renfermé dans des enceintes de pieux et palplanches. Sur la rive droite, la culée du pont et les deux piles voisines du viaduc sont établies sur un massif unique de béton qui forme ainsi un radier général. La culée et la pile voisine sont en outre reliées par une voûte renversée; cette disposition a été adoptée parce que sur le bord extérieur de la culée le gravier était moins compacte que dans le reste de la fouille. Sur la rive gauche, la masse de béton ne s'étend que sous une seule pile du viaduc, qui est aussi reliée à la culée par une voûte renversée. Ces fouilles présentent, dans leur profil longitudinal, des paliers à des hauteurs variables suivant la résistance du gravier.

L'enceinte de pieux et palplanches a été remplacée, dans la pile en rivière, par une enveloppe générale en tôle dont la description a été insérée dans les *Annales des ponts et chaussées*, en 1857.

§ 3. — Travaux accessoires.

Lorsque les ouvrages à exécuter sont considérables par leurs dimensions ou la masse de maçonnerie à exécuter sur le même point, il faut, pour les construire, des dispositions particulières de chantiers et des installations spéciales qui permettent l'emploi des machines, afin de réunir la vitesse à l'économie, et enfin des travaux accessoires qui, destinés à un usage essentiellement temporaire, puisqu'ils ne servent plus dès que le travail est terminé, n'en sont pas moins souvent des travaux très-considérables par eux-mêmes. Les dispositions des chantiers et les machines seront décrites dans le § 4; celui-ci sera consacré à la description des travaux accessoires. Les principaux de ces travaux sont : l'enveloppe en tôle pour la pile en rivière, le pont mobile pour le coulage du béton, les cintres et échafaudages, et enfin l'appareil de décentrement.

L'appareil de décentrement ayant été décrit dans le même numéro des *Annales* que l'enveloppe en tôle (*Chronique*), il ne sera question ici que du pont mobile pour le coulage du béton, et des cintres.

Les fouilles de la culée (rive droite) du grand pont et des trois piles voisines du viaduc, ont été prêtes un peu avant les autres; l'enceinte de pieux et palplanches étant battue, présentait une longueur d'environ 50 mètres et une largeur de 24 mètres qui diminuait, d'ailleurs, dans la partie correspondante au viaduc. Il fallait y couler une épaisseur de béton variant de 3^m,50 à 6^m,50. Pour couler dans un bref délai une masse aussi considérable (environ 4,000^{me}), il n'eût pas été prudent de ne pas faire une installation spéciale. Voici les dispositions adoptées. Elles ne sont pas entièrement nouvelles; mais il a semblé bon de les faire connaître, parce qu'il est toujours utile de savoir où trouver, dans un moment donné, une disposition qui a réussi dans d'autres circonstances. Dans

le sens de la longueur de l'enceinte et sur les moises furent fixées des semelles sur lesquelles on a posé un cours de rails, ce qui donnait ainsi une voie de fer ayant pour largeur de voie la largeur de la fouille. Sur cette voie se mouvait un pont porté sur quatre roues ordinaires de wagons. Ce pont était composé seulement de deux fermes entre lesquelles se mouvait un chariot portant un treuil au moyen duquel on remontait ou descendait la cuisse à couler le béton. Le chariot se mouvait dans le sens de la longueur du pont, et par conséquent de la largeur de la fouille ; de sorte qu'en combinant le double mouvement du pont et du chariot, le coulage du béton s'opérait par tranches successives juxtaposées formées suivant le sens de la largeur de la fouille.

Le pont se composait de deux fermes de tête entretoisées à leurs extrémités, et reliées à leur partie supérieure par des contre-fiches et des moises : au-dessus des fermes est établi un plancher continu. Les fermes de tête sont composées de semelles horizontales dans lesquelles sont assemblés des montants verticaux contre lesquels buttent des contre-fiches, et dont l'écartement est maintenu par des tirants en fer boulonnés sur des étriers. Les montants verticaux sont reliés à leur partie supérieure par des moises horizontales dont les extrémités sont en saillie sur les plans des fermes, et reçoivent les parties supérieures de contre-fiches qui s'assemblent à leurs extrémités inférieures avec les montants. Les extrémités du pont reposaient sur des traverses portant les coussinets des essieux des roues de wagons.

A la partie inférieure des montants, entre les fermes, étaient des corbeaux formés de petites contre-fiches assemblés au pied des montants, et retenues à leur partie supérieure par des moises qui embrassaient en même temps les montants et les contre-fiches extérieures. Ces corbeaux formaient de chaque côté, à l'intérieur du pont et sur chaque ferme, une saillie sur laquelle reposait un cours de rails parallèle à la longueur du pont et par conséquent à la largeur de la fouille ; sur cette

voie se mouvait un chariot portant un treuil sur lequel s'enroulait la chaîne de la caisse à couler le béton.

Aux extrémités du pont étaient fixées des bétonnières ou machines à fabriquer le béton, qui exigeaient les manœuvres suivantes : on mélangeait sur le chantier, à proximité de la fouille, le mortier et les cailloux dans les proportions nécessaires; ce mélange était d'ailleurs très-imparfait. Les matériaux étaient apportés sur le plancher du pont au moyen d'un roulage qui suivait le mouvement du pont, et déchargés sur le plancher près de la bouche de la bétonnière. Un ouvrier brassait le tas et remplissait la bétonnière. La bétonnière se compose d'un coffre long de 3^m,00, dont la section est un carré de 0^m,60 de côté à l'intérieur, fermé au fond et muni sur l'une des faces d'une trappe mobile entre deux coulisses. On pose la bétonnière verticalement. A l'intérieur sont des plans inclinés, en tôle forte et disposés sur deux faces en sens contraire; le béton jeté par la bouche de la bétonnière descend successivement sur chaque plan incliné; ce mouvement le retourne et le mélange, et il est bon à être employé lorsqu'il arrive au fond. Lorsque la caisse à couler était amenée pour le chargement, un ouvrier levait la trappe, et le béton s'écoulait dans la caisse; l'ouvrier placé à la bouche de la bétonnière la remplissait pendant qu'elle se vidait par le bas. Il y avait une bétonnière à chaque extrémité du pont; de sorte que sur le plancher supérieur, il y avait un roulage dans chaque sens, de chaque côté du pont, sur la partie faisant saillie en dehors des formes.

Une roue d'entrée fixée sur l'une des roues de wagon à chaque extrémité du pont, et recevant le mouvement d'un pignon qui était manœuvré par une manivelle, déterminait la marche du pont sur les cours de rails placés sur les files longitudinales de pieux et palplanches.

La caisse à couler le béton était suspendue à une chaîne s'enroulant sur un treuil fixé au petit chariot qui se mouvait

dans l'intérieur du pont, en roulant sur les roues de rails placés dans le sens de la longueur du pont. Cette caisse avait la forme d'un demi-cylindre droit s'ouvrant en deux parties, tournant autour de l'axe du cylindre placé horizontalement; quand la caisse arrivait au fond de la fouille et que la manœuvre du décliquetage était opérée, la caisse s'ouvrait par sa partie inférieure, suivant une génératrice du cylindre, et présentait la forme de deux quarts de cylindre qui n'avaient de commun que l'axe du cylindre, et qui faisaient entre eux un angle de plus en plus ouvert jusqu'à ce que la caisse fût vide; le béton était donc en quelque sorte déposé au fond de la fouille, et non projeté ou retourné, ce qui entraîne toujours un certain délavement, quelques soins que l'on prenne.

Le décliquetage se faisait de la manière suivante : l'axe de la caisse était muni à ses deux extrémités d'une tige de fer, et la caisse était munie à ses angles extérieurs de quatre chaînes. Les tiges étaient réunies par une bride et formaient un anneau; un crochet avec un bras de levier s'engageait dans cet anneau et servait à soutenir la caisse pleine. Lorsque celle-ci était arrivée à la profondeur où le béton devait être déposé, une corde fixée au levier du crochet le faisait basculer; cette corde était attachée au treuil, et sa longueur réglée suivant la profondeur à laquelle il fallait descendre la caisse. Lorsque le décliquetage était opéré, la caisse cessait d'être portée par les tiges et l'était par ses chaînes réunies dans un anneau de la chaîne principale enroulée sur le treuil; la caisse était alors ouverte par le rapprochement des deux génératrices de la section formant l'ouverture; lorsque le béton est entièrement sorti, la caisse est remontée à peu près dans une position renversée par suite du rapprochement presque complet de ces génératrices.

Lorsqu'un pont de ce genre est installé pour le coulage d'une grande quantité de béton et qu'il est bien servi, on peut couler deux cents mètres par jour; mais presque toujours la fabrication du mortier, le lavage du caillou et le transport à la

bétonnière sont en retard sur le coulage, puisqu'on peut mettre deux caisses dans l'intérieur du pont.

La disposition générale de ce pont mobile a été reproduite dans les chariots employés au lavage et à la distribution des matériaux dont il sera question plus loin.

CINTRES ET ÉCHAFAUDAGES.

Les échafaudages pour le viaduc ont été traités à forfait au mètre courant : ils s'appuyaient sur les cintres, qui eux-mêmes portaient sur les saillies des impostes. Des tourelles placées de distance en distance servaient à monter les matériaux, dans des mannes qui étaient ensuite amenées sur le plancher supérieur. Le mortier et les moellons étaient montés par ce système; les pierres de taille, ainsi que de grandes mannes à moellons, étaient montées directement par les chariots dont il a été parlé ci-dessus et dont la figure (voir la figure) donne le dessin. Ces chariots se mouvaient sur des cours de rails placés aux têtes du viaduc, et formant ainsi une voie de 5^m,60 de largeur.

Le système de hardage pour le pont proprement dit mérite une description spéciale. Les cintres des grandes arches étaient la base de tout le système; ils étaient divisés en parties fixes et en parties mobiles, et constituaient par eux-mêmes un travail de charpente très-important. Il y avait deux systèmes de cintres : l'un comprenait une arche marinière; l'autre n'en comprenait pas; le premier système servait pour les arches placées sur les deux bras de la Marne, l'autre pour les deux arches de l'île.

Les cintres portent sur des palées espacées de 5^m,00 à peu près les unes des autres, et arasées à 2^m,20 au-dessus de l'étiage. Au-dessus de ces palées, bases de fondation, sont des palées supérieures de 6^m,10 de hauteur, composées de pieux verticaux moisés en haut et en bas. Ces palées sont

maintenues verticales au moyen de moises simples horizontales aux parties supérieure et inférieure, et de moises simples obliques. Ces palées ont 8^m,70 de largeur.

Au-dessus de ces palées sont quatre poutres horizontales superposées reliées par des montants verticaux contre lesquels buttent des croisillons. Ces poutres constituent un système élastique destiné à répartir la pression à peu près uniformément sur chaque pieu des palées, et occupent 1^m,20 de hauteur.

Au-dessus de ces poutres sont des fermes de 2^m,90 de hauteur, composées de pièces debout assemblées dans des semelles longitudinales à leurs extrémités, reliées par deux cours de moises horizontales qui, à la partie inférieure, se prolongent en dehors des cintres, et par des moises obliques; cinq cours de moises simples aux parties supérieure et inférieure, et des moises obliques maintiennent l'écartement de ces fermes.

Dans l'arche marinière, les semelles sont doublées de poutres de même épaisseur et de 14 mètres de longueur, qui constituent des poutres armées; des étriers les réunissent.

Au milieu est un poinçon entre les deux poutres et un autre au-dessus. Deux arbalétriers composés de deux pièces réunies par des étriers sont dirigés de la partie supérieure du poinçon aux extrémités de la poutre inférieure; celle-ci est elle-même armée d'une sous-poutre de 6 mètres de longueur contre laquelle buttent des contre-fiches formées de deux pièces buttant du bas contre les palées qui forment la passe, et dont la poussée est renvoyée aux palées basses par deux contre-fiches de chaque côté. Deux arbalétriers sont assemblés aux extrémités de la poutre supérieure de la passe, et dans le poinçon placé au-dessus d'elle. Des moises obliques relient les poutres, arbalétriers et contre-fiches qui composent le passage de l'arche

marinière. De grands étriers en fer forgé, boulonnés sur les poinçons, embrassent les poutres et sous-poutres inférieures.

Au-dessus des semelles supérieures des petites fermes de 2^m,00 de hauteur, sont d'autres fermes de 5^m,00 de hauteur, composées comme les précédentes de pièces debout assemblées entre des semelles, de moises transversales, et leur écartement est maintenu par des croisillons.

Les semelles inférieures des poutres de 2^m,90 de hauteur prolongées, forment le plancher de la partie fixe inférieure sur laquelle portent les triangles mixtilignes mobiles qui complètent les cintres depuis ce niveau jusqu'à celui du plancher supérieur, qui est déterminé par les semelles supérieures des fermes de 5^m,00 de hauteur. Le premier plancher est à la cote 9.80, et le second à 17.40 au-dessus de l'étiage.

Les parties mobiles du cintre se composent donc du segment compris entre le plancher supérieur et la voûte, et des deux triangles mixtilignes correspondant à la distance des deux planchers. Tout le reste est fixe. Un plancher couvre toute la charpente fixe, et c'est sur ce plancher que sont établies les semelles qui servent de base aux parties mobiles.

Les cintres des arches de l'île ne diffèrent de ceux qui viennent d'être décrits que par la suppression de l'arche marinière; ils se composent, sur toute l'ouverture, d'un système de palées et de fermes superposées analogues à ce qui vient d'être dit ci-dessus.

Le segment qui constitue la partie mobile supérieure des cintres pour les quatre grandes arches se compose de sept fermes dont chacune a cinq poinçons portant sur des semelles transversales liées par des moises longitudinales et transversales à différentes hauteurs; elles sont complétées par l'armature ordinaire de vaux, contre-fiches, couchis et voligeage.

En dehors des cintres, les palées basses sont prolongées et surmontées de palées hautes terminées par un plancher à un mètre environ au-dessous du plancher supérieur de la partie fixe. Des arcs-boutants établissent le contreventement de la partie mobile supérieure.

Les parties mobiles portaient sur des cales, et ont été décintrees au moyen des appareils décrits dans une notice insérée dans les *Annales* de l'année 1856.

Les poinçons des fermes composant les parties mobiles sont placés au-dessus des palées et des fermes verticales des cintres. Entre ces poinçons étaient les montants verticaux des échafaudages supportant le roulage supérieur. Ces échafaudages se composaient d'ailleurs de poinçons, moises, chapeaux, longrines et contre-fiches disposés de la manière la plus simple, ainsi que l'indiquent les figures 8 et 9.

Sur les têtes du pont, et en prolongement des cours de rails posés sur les échafaudages du viaduc, sont des cours de rails qui forment une large voie sur laquelle se meuvent des chariots. Ces chariots portent à leur partie supérieure une voie sur laquelle se meuvent deux petits chariots munis de treuils ; lorsque ces petits chariots sont aux extrémités des grands chariots formant encorbellement, ils servent à monter les matériaux du chantier à la partie supérieure du pont ; lorsqu'ils sont ramenés dans la partie correspondante à l'emplacement du pont, ils servent à descendre les matériaux sur les voies de distribution. Ces voies sont au nombre de deux ; leur place est à peu près celle des voies définitives ; elles communiquent aux extrémités des échafaudages par deux plaques tournantes placées au-dessus des premières piles du viaduc après les culées, entre elles d'abord, puis avec des voies transversales prolongées en dehors de la tête aval jusqu'à des tourelles desservies par des machines à vapeur. Le service de ces voies sera détaillé dans le § 4.

On voit, d'après le dessin, que les montants des échafaudages traversaient les maçonneries à exécuter; il a donc fallu les recoper; ils étaient alors remplacés par des étais portant sur la maçonnerie déjà faite.

Les grandes voûtes du pont ont été exécutés en deux anneaux; l'anneau inférieur portant directement sur les cintres était une voûte ayant à peu près le tiers de l'épaisseur totale qui devait être donnée; on a pu ainsi construire cet anneau très-rapidement et il a servi à soulager les cintres qui n'ont pas eu à supporter le poids total de la voûte jusqu'à sa fermeture complète.

Ainsi que nous l'avons dit ci-dessus, les échafaudages étant payés à forfait, l'entrepreneur a pris les dispositions qu'il a crues les meilleures. Cependant, nous pensons qu'il eût été plus avantageux de rendre l'échafaudage indépendant des maçonneries, de manière à éviter les frais de recavage des montants verticaux; ces frais comprennent la main-d'œuvre du recavage et celle des ateliers qu'il faut suspendre, et, en outre, une très-grande perte de bois. Nous recommandons par conséquent une disposition des supports en dehors des maçonneries.

§ 4. — Dispositions générales des chantiers et ateliers.

La planche M. 5. indique les emplacements des divers services de l'entreprise et de la Compagnie; mais il peut être utile de connaître l'usage qui était fait de toutes ces dispositions. Sur un grand chantier il faut avant tout distribuer les approvisionnements suivant le mode de transport à employer. La classification la plus rationnelle est celle de transports sur voies de fer, sur essieux, c'est-à-dire par voitures amenées des carrières en suivant les chemins et les routes, et enfin par eau.

Les pierres de taille employées à la construction de l'ouvrage sont les seuls matériaux transportés par voie de fer ; elles viennent de la vallée de la Meuse ; elles étaient transportées des carrières aux stations d'Euville et de Lérrouville, sur le chemin de fer de Paris à Strasbourg, et de là transportées en wagons à Noisy-le Sec, point d'embranchement du chemin de Mulhouse sur celui de Strasbourg.

L'entreprise se hâta d'établir, dans la limite des terrains appartenant à la Compagnie, une voie provisoire allant de Noisy-le-Sec à Nogent, en suivant, autant que possible, le niveau du sol au moyen de déclivités assez fortes. Cette voie servait à la fois au transport des terrassements, du matériel et des matériaux destinés au chantier de Nogent-sur-Marne et aux ouvrages compris entre Noisy-le-Sec et Nogent.

La voie provisoire traversait à niveau la route départementale n° 44 et se prolongeait dans le chantier en formant une voie de garage représentée sur le plan général par la dernière voie inférieure à gauche. Les wagons étaient amenés sous la grande grue à plusieurs travées, longeant la route, et munie d'un chariot à treuil roulant sur une voie supérieure ; cette grue était donc construite dans le système de celles qui servent à soulever les voitures dans les gares de chemins de fer. Au moyen du treuil on déchargeait les wagons en transbordant les pierres sur les trucs qui étaient dirigés par les voies de service sur les différents ponts où il fallait distribuer les pierres de taille. Toutes les pierres de taille occupaient ainsi l'espace compris à l'aval de la ligne entre la nouvelle et l'ancienne route départementale de Nogent à Bry, le dessous des arches et une zone de vingt à vingt-cinq mètres le long de l'ouvrage et en aval.

Les moellons de remplissage venaient des carrières de Saint-Maur, sur essieux ; les libages également sur essieux, des carrières de Charenton et de Bagneux ; les meulières, les

bois, le ciment, le sable de Seine, par la Marne, pour la plupart ; la chaux venant de Tournay (Belgique), par l'Oise et les canaux, remontait ainsi la Marne par bateaux.

Les matériaux transportés sur essieux étaient déposés dans la partie comprise entre l'ancienne route départementale et la Marne, en aval de la zone occupée par les pierres de taille, jusqu'à la limite des terrains destinés aux dépôts.

Les matériaux transportés par eau étaient déposés sur les bords de la Marne, savoir : les bois sur la rive droite, dans la partie d'amont du chantier où ils formaient un grand chantier spécial ; les meulières et le sable, tant en amont qu'en aval sur les deux rives et sur l'île.

Le long de la tête d'amont du viaduc on a fait une chaussée pour la circulation des voitures de toute nature, faisant le service du chantier ; elle commençait aux manéges et aboutissait à l'ancienne route départementale. Elle servait aux transports du sable et du gravier extraits de carrières situées au bord de la Marne, près du pont de Petit-Bry, et de ceux extraits de la carrière ouverte dans le chantier même ; elle servait aussi au transport du mortier des manéges aux différents appareils élévatoires approvisionnant les ateliers de maçons ; il faut compter aussi les transports à faire continuellement des ateliers de l'entreprise au chantier pour la serrurerie, le charronnage, etc. ; c'est aussi par ce chemin que se faisait tout le mouvement du personnel des ouvriers. Il est bon de recommander les légers systèmes élévatoires dont il est question ci-dessus. Ce sont des potences pivotant autour de l'arbre vertical. Une corde s'enroule sur trois poulies, l'une fixée au sol, les autres aux extrémités du bras de la potence. Un cheval en tirant sur la corde fait monter un baquet rempli de mortier. Des ouvriers avec des cordes ramènent le bras de la potence pour décharger le baquet et pour le faire descendre. Ce service est très-rapide, et quoique le baquet contienne très-peu de mortier (0.05 à 0.06 à peine), une potence four-

nit toujours son atelier. Les potences employées à Nogent différaient peu de celles décrites dans l'ouvrage de M. Jouy Fontenay sur le viaduc de l'Indre.

Les principaux établissements de l'entreprise étaient sur la rive droite près de l'ancienne route départementale. C'est, en effet, de ce côté que le chantier était le plus facilement accessible. Ils formaient une grande cour entourée de bâtiments comprenant les bureaux du conducteur principal et de ses agents, dans un bâtiment séparé, et autour de la cour les magasins d'outils et fournitures diverses nécessaires aux travaux et à l'entretien du matériel, les magasins à fourrage, les écuries et les forges. Sur la rive gauche il n'y avait qu'une ambulance de chevaux pour les repos du jour.

La compagnie avait aussi un établissement organisé pour la surveillance des travaux, au milieu du chantier sur la rive droite. Il se composait d'un bureau et d'une cour où étaient les logements du chef de section adjoint, spécialement chargé de la surveillance du travail, des logements des surveillants et d'un magasin.

Les ateliers de l'entreprise se composaient de magasins à chaux, bassins à chaux et manèges à mortier, établis sur une levée formée au moyen des premières fouilles des culées et piles du pont et du viaduc. Il y avait un manège mu par une locomobile à côté de laquelle fonctionnait une petite forge portative. Ces ateliers étaient placés sur la rive droite, près de la berge, la chaux venant par eau. Sur la rive gauche il y avait aussi les magasins de chaux moins importants et des bassins à chaux et manèges à mortier pour la partie du viaduc établie de ce côté. L'atelier de la rive droite desservait les cinq travées de la rive droite et le grand pont presque entièrement. Des turbines à fabriquer le mortier étaient placées de distance en distance le long du viaduc pour venir en aide à l'atelier principal et diminuer les transports du mortier.

En amont des ateliers de mortier, dans le chantier de charpento, étaient des magasins, des hangars pour les charpentiers, un atelier de menuiserie et de charronnage.

En aval du viaduc, près des culées du pont, et sur chaque rive, étaient des machines à vapeur destinées à faire monter les matériaux sur les voies du bardage supérieur. Un pont de service placé en aval de l'ouvrage sur les prolongements des palées basses des cintres assurait la communication d'une rive à l'autre pour le bardage sur voie de fer des matériaux sur toute l'étendue du chantier.

Le mouvement du chantier s'exécutait ainsi que suit :

Pour le viaduc le montage se faisait par les chariots mobiles et par les tourelles ; les pierres de taille étaient montées par les chariots ; elles étaient déposées brutes sous les arches et le long de la tête en aval du viaduc ; cette distribution sur place était faite au moyen des voies de service du chantier ; les pierres étaient ensuite taillées sur le lieu de leur dépôt et un simple bandage à la main les amenait sous la chaîne du chariot. Les meulières de parement et les moellons de remplissage étaient amenés dans des mannes sur les voies de fer ; les mannes placées sur des chariots très-bas étaient déchargées et amenées par le bardage sous les tourelles ou sous les chariots. Le mortier provenait des turbines voisines du viaduc et des manèges établis près de la rivière. Il était monté dans des auges de diverses grandeurs, soit par les potences à cheval, soit par les chariots, soit par les tourelles.

Pour le grand pont, tout le montage était fait à de très-rare exceptions près par les grandes tourelles des extrémités desservies par les machines élévatoires. Tous les matériaux étaient amenés sur des chariots très-bas qui circulaient sur les voies de fer du chantier, trainés par des chovaux ; des chariots de même forme circulaient sur les voies supérieures,

de telle sorte que les pierres de taille, les paniers à meulière, les grandes auges à mortier ou à sable, les tonnes de ciment circulaient sur les voies supérieures comme sur les voies inférieures et étaient distribuées par les plaques tournantes sur l'une ou l'autre voie jusque sous les grands chariots mobiles dont les treuils les amenaient ensuite au point où il fallait les employer.

Le plan général du chantier indique les voies de service, leurs croisements et les plaques tournantes; on y a fait figurer les établissements et ateliers de l'entreprise et de la Compagnie.

§ 4. — Renseignements statistiques et prix de revient.

Il est très-important de pouvoir se rendre compte du prix de revient des grands ouvrages de cette nature. Jusqu'ici les ingénieurs se sont accordés à évaluer les dépenses d'après la surface remblayée, mesurée sur le plan vertical passant par l'axe de l'ouvrage. Les renseignements utiles à connaître sont donc : la surface remblayée, le rapport du vide au plein, le rapport inverse du plein au vide, le rapport du plein à la surface remblayée, les quantités des différentes natures d'ouvrages par mètre superficiel de surface remblayée.

La dépense totale par mètre superficiel de surface remblayée, la dépense des fondations par mètre superficiel, et enfin la dépense de la partie vue de l'ouvrage également par mètre superficiel.

Pour le viaduc de Nogent-sur-Marne la surface remblayée est de 19,396.29, dont :

Pour le viaduc.....	13,119.00
Pour le pont.....	6,277.29
Total.....	<u>19,396.29</u>

La superficie des vides est :

Pour le viaduc.....	8,110.27
Pour le pont.....	3,446.03
Total des vides.....	11,556.30

La superficie des pleins est :

Pour le viaduc.....	5,008.73
Pour le pont.....	2,831.26
Total.....	7,839.99

De là on déduit les rapports contenus dans le tableau suivant :

RAPPORTS.	VIADUC. Y compris le parapet.	PONT. Y compris le parapet.	ENSEMBLE. Y compris le parapet.	OBSERVATIONS
Du vide à la surface totale..	0.62	0.55	0.60	
Du plein à la surface totale..	0.38	0.45	0.40	
Du vide au plein.....	1.83	1.22	1.50	
Du plein au vide.....	0.61	0.82	0.67	

En dressant un tableau semblable pour chaque viaduc on déduira leur économie relative, abstraction faite de la valeur des matériaux et des circonstances diverses qui ont motivé leurs dispositions.

TABLEAUX DES QUANTITÉS TOTALES ET DES DÉPENSES.

1^{er} Tableau. — Viaduc.

NATURE DES OUVRAGES.	QUANTITÉS.	DÉPENSES.	OBSERVATIONS.
1^o Fondations.			
Terrassements.....	16,128.75	53,207 12	(1) Ce chiffre représente le cube des bois employés : la dépense correspondante comprend les battages de pieux et de palplanches, recépage, etc
Charpente pour fondations....	657.23(1)	53,848 38	
Béton.....	4,077.92	66,598 56	
Maçonnerie de libages.....	5,105.40	250,029 99	
Maçonnerie de remplissage	1,135.44	50,753 75	
Épuisements.....	"	60,604 50	
Travaux divers.....	"	3,812 63	
TOTAL DES DÉPENSES...	"	478,821 71	Cette dépense a été payée à forfait à raison de l'ouverture.
2^o Élévation.			
Maçonnerie de libages.....	150.34	5,796 05	
Maçonnerie de pierres de taille	6,016.67	744,454 43	
Maçonnerie de remplissage....	20,875.61	402,011 22	
Maçonnerie de meulière piquée.	4,877.56	398,972 28	
Voûtes de décharge.....	1,358.17	26,955 55	
Chapes et enduits	6,680.01	55,806 95	
Cintres et échafaudages	"	188,271 51	
Travaux divers.....	"	4,802 21	
TOTAL DES DÉPENSES...	"	1,868,179 76	
RÉCAPITULATION.			
1 ^o Fondations		478,821 71	
2 ^o Élévation.....		1,868,179 76	
TOTAL.....		2,346,001 47	

2^e Tableau. — Pont.

NATURE DES OUVRAGES.	QUANTITÉS.	DÉPENSES.	OBSERVATIONS.
1^o Fondations.			
Terrassements.....	53,800.40	98,538 65	
Draguages.....	51,182.09	289,542 72	
Charpente.....	752.49	87,900 58	
Ferronnerie.....	103,359.60	129,449 02	
Béton.....	13,989.46	277,724 43	
Maçonnerie de libages.....	2,460.70	109,378 11	
Maçonnerie de moellons d'appareil.....	20.44	1,095 58	
Maçonnerie de remplissage....	977.10	21,691 62	
Enrochements.....	10,985.97	122,695 32	
Epuisements.....	"	29,811 "	
Travaux divers.....	"	84,990 61	
TOTAL DES DÉPENSES...	"	1,202,818 54	
2^o Elevation.			
Maçonnerie de pierre de taille.	3,480.97	411,600 65	
Maçonnerie de meulière piquée.	1,830.05	168,755 39	
Maçonnerie de remplissage....	12 281.06	534,530 68	
Voûtes de charge.....	3,495.45	119,132 04	
Chapes et enduits.....	15,110.78	55,944 30	
Cintres, échafaudages, pont de service.....	8,262.63	537,981 06	
Travaux divers.....	"	1,275 12	
TOTAL DES DÉPENSES....	"	1,826,237 24	
RÉCAPITULATION.			
1 ^o Fondations.....		1,202,818 54	
2 ^o Elevation.....		1,826,237 24	
TOTAL POUR LE PONT.....		3,029,055 78	

3^e Tableau. — Pont et Viaduc ensemble.

NATURE DES OUVRAGES.	QUANTITÉS.	DÉPENSES.	OBSERVATIONS.
1^{re} Fondations.			
Terrassements	69,929.13	134,745 77	
Dragages.....	51,182.99	289,512 72	
Charpentes... ..	1,409.72	141,718 96	
Ferronnerie	105,339.60	139,440 92	
Béton	18,067.58	291,322 79	
Maçonnerie de libages	7,633.26	339,408 10	
Maçonnerie de moellon d'appareil.....	30.14	1,095 38	
Maçonnerie de remplissage	2,412.84	52,415 35	
Enrochements.....	10,985.97	122,095 32	
Epuisements.....	"	90,112 50	
Travaux divers.....	"	88,803 24	
TOTAL DES DÉPENSES ..	"	1,681,610 25	
2^e Élévation.			
Maçonnerie de libages.....	180.34	3,796 05	
Maçonnerie de pierre de taille.	9,497.61	1,156,035 08	
Maçonnerie de meulière piquée.	6,707.41	566,827 67	
Maçonnerie de remplissage.....	33,157.57	965,571 90	
Voûtes de décharge.....	4,833.62	146,107 37	
Chapes et enduits	21,790.79	91,751 23	
Cintres, échafaudages, pont de service.....	" (1)	726,252 37	(1) On ne peut apprécier le cube rapporté à l'ensemble de l'ouvrage puisque les échafaudages du viaduc ont été payés à forfait à raison de la longueur.
Travaux divers.....	"	6,075 53	
TOTAL DES DÉPENSES...	"	3,692,417 "	
RÉCAPITULATION.			
1 ^{re} Fondations.....		1,681,610 25	
2 ^e Élévation.....		3,692,417 00	
TOTAL POUR L'ENSEMBLE.....		5,374,027 25	

TABLEAUX DES QUANTITÉS D'OUVRAGES

ET DES DÉPENSES PAR MÈTRE CARRÉ DE SURFACE REMBLAYÉE.

1^{er} Tableau. — Viaduc.

NATURE DES OUVRAGES.	QUANTITÉS.	DÉPENSES.	OBSERVATIONS.
1^o Fondations.			
Terrassements.....	1.33	3 83	
Charpentes.....	0.05	4 10	
Béton.....	0.31	5 08	
Maçonnerie de libages.....	0.39	17 53	
Maçonnerie de remplissage....	0.11	3 34	
Travaux divers.....	"	0 20	
TOTAL DES DÉPENSES...	"	34 87	
2^o Élévation.			
Maçonnerie de libages.....	0.01	0 44	
Maçonnerie de pierre de taille.	0.46	86 74	
Maçonnerie de meulière piquée	0.37	30 34	
Maçonnerie de remplissage....	1.00	35 22	
Voûtes de décharge.....	0.10	2 05	
Chapes et enduits.....	0.51	2 73	
Epuisements.....	"	4 02	
Cintres et échafaudages.....	"	14 38	
Travaux divers.....	"	0 87	
TOTAL DES DÉPENSES...	"	146 86	
RÉCAPITULATION.			
1 ^o Fondations.....		34 87	
2 ^o Élévation.....		146 86	
TOTAL.....		178 73	

2^e Tableau. — Pont.

NATURE DES OUVRAGES.	QUANTITÉS.	DÉPENSES.	OBSERVATIONS.
1^o Fondations.			
Terrassements.....	8.57	15 70	
Drainages.....	8.15	46 11	
Charpente	0.42	14 01	
Ferronnerie	16.79	20 62	
Béton	2.23	36 29	
Maçonnerie de libages	0.39	17 43	
Maçonnerie de moellons d'appareil.....	0.005	0 17	
Maçonnerie de remplissage....	0.46	3 46	
Enrochements	1.75	19 53	
Travaux divers.....	"	13 51	
TOTAL DES DÉPENSES ..	"	186 91	
2^o Élévation.			
Maçonnerie de pierre de taille.	0.35	65 59	
Maçonnerie de meulière piquée.	0.82	31 67	
Maçonnerie de remplissage....	1.96	84 71	
Voûtes de décharge.....	0.55	18 99	
Chapes et enduits	2.40	8 91	
Epuisements.....	"	4 75	
Cintres, échafaudages et pont de service.....	1.31	85 73	
Travaux divers.....	"	0 20	
TOTAL DES DÉPENSES...	"	300 55	
RÉCAPITULATION.			
1 ^o Fondations.....		186 91	
2 ^o Élévations.....		300 55	
TOTAL.....		487 45	

3^e Tableau. — Pont et Viaduc ensemble.

NATURE DES OUVRAGES.	QUANTITÉS.	DÉPENSES.	OBSERVATIONS.
1^o Fondations.			
Terrassements.....	3.61	6 79	
Draguages.....	2.65	14 92	
Charpente.....	0.07	7 51	
Ferronnerie.....	5.43	6 67	
Béton.....	0.95	15 17	
Maçonnerie de libages.....	0.39	17 40	
Maçonnerie de moellons d'appareil.....	0.001	0 06	
Maçonnerie de remplissage....	0.15	2 70	
Enrochements.....	0.57	6 32	
Travaux divers.....	»	4 58	
TOTAL DES DÉPENSES...	»	82 01	
2^o Élévation.			
Maçonnerie de libages.....	0.007	0 50	
Maçonnerie de pierre de taille..	0.49	51 11	
Maçonnerie de meulière piquée.	0.35	29 21	
Maçonnerie de remplissage....	1.71	51 21	
Voûtes de décharge.....	0.25	7 53	
Chapes et enduits.....	1.12	4 75	
Epulsements.....	»	4 66	
Cintres, échafaudages et pont de service.....	»	37 45	
Travaux divers.....	»	0 51	
TOTAL DES DÉPENSES...	»	186 49	
RÉCAPITULATION.			
1 ^o Fondations.....		82 01	
2 ^o Élévation.....		186 49	
TOTAL.....		268 50	

Quelques ingénieurs rapportent les dépenses des viaducs et non leur section verticale. Ce mode de comparaison est utile parce que, en effet, le premier serait insuffisant pour comparer des viaducs, de largeurs différentes. On conçoit, en effet, que deux viaducs ayant la même section verticale et construits en matériaux de même nature, mais ayant des largeurs différentes, donneraient, par la comparaison de la surface remblayée, des résultats très-inégaux qui ne pourraient être exactement interprétés qu'en mettant en regard la largeur de chaque ouvrage, ce qui revient à rapporter les dépenses à l'unité de volume.

Si l'on suppose une ligne droite glissant sur les arêtes extérieures de l'ouvrage, de manière à déterminer le plus petit polygone enveloppant chaque section horizontale, on formera un solide qui sera le cube général de l'ouvrage tant pleins que vides. Le cube des pleins est donné par le mètre définitif; on déduira ainsi des deux volumes précédents celui des vides.

Ce travail fait pour le viaduc et pour le tout séparément donne les résultats suivants groupés en tableau.

VOLUMES ET RAPPORTS.	VIADUC.	PONT.	ENSEMBLE.
Cube général, vides et pleins.....	120363.90	85129.16	475492.36
Cube des pleins.....	27747.46	28442.83	61190.29
Cube des vides	89615.74	31086.33	414302.07
Rapport du cube plein au cube total.....	0.31	0.43	0.23
Rapport du cube vide au cube total.....	0.69	0.57	0.65
Rapport du cube vide au cube plein.....	2.19	1.35	1.87
Rapport du cube plein au cube vide.....	0.46	0.74	0.535
Largeur moyenne.....	9.17	8.78	9.04

On peut également évaluer les quantités et dépenses par mètre cube du volume général de l'ouvrage.

En suivant la même marche que pour la réduction au mètre carré de surface, on a les tableaux suivants:

1^{er} Tableau. — Viaduc.

NATURE DES OUVRAGES.	QUANTITÉS.	DÉPENSES.	OBSERVATIONS.
1^o Fondations.			
Terrassements.....	0.13	0 27	
Charpente.....	0.003	0 43	
Béton.....	0.03	0 53	
Maçonnerie de libages.....	0.04	1 91	
Maçonnerie de remplissage....	0.01	0 23	
Epuisements.....	"	0 50	
Travaux divers.....	"	0 03	
TOTAL DES DÉPENSES...		3 96	
2^o Elévation.			
Maçonnerie de libages.....	0.001	0 04	
Maçonnerie de pierre de taille..	0.05	6 18	
Maçonnerie de remplissage....	0.17	3 83	
Maçonnerie de meulière piquée..	0.04	3 30	
Voûtes de décharge.....	0.01	0 22	
Chapes et enduits.....	0.05	0 29	
Cintres et échafaudages.....	"	1 56	
Travaux divers.....	"	0 04	
TOTAL DES DÉPENSES...	"	15 46	
RÉCAPITULATION DU 1^{er} TABLEAU.			
1 ^o Fondations.....		3 96	
2 ^o Elévation.....		15 46	
TOTAL POUR LE VIADUC.....		19 42	

2^e Tableau. — Pont.

NATURE DES OUVRAGES.	QUANTITÉS.	DÉPENSES.	OBSERVATIONS.
1^o Fondations.			
Terrassements	0.97	1.78	
Dragages.....	0.92	5.25	
Charpente.....	0.01	1.59	
Ferronnerie	1.91	2.54	
Béton.....	0.25	4.11	
Maçonnerie de libages.....	0.04	1.96	
Maçonnerie de moellons d'appareil.....	"	0.02	
Maçonnerie de remplissage....	0.01	0.39	
Enrochements.....	0.20	2.22	
Epuisements.....	"	0.54	
Travaux divers.....	"	1.54	
TOTAL DES DÉPENSES....	"	21.76	
2^o Élévation.			
Maçonnerie de pierre de taille.	0.06	7.46	
Maçonnerie de meulière piquée.	0.05	3.06	
Maçonnerie de remplissage....	0.22	9.63	
Voûtes de décharge.....	0.06	2.16	
Chapes et enduits... ..	0.27	1.01	
Cintres et échafaudages	0.15	9.75	
Travaux divers.....	"	0.02	
TOTAL DES DÉPENSES....	"	23.10	
RÉCAPITULATION DU 2^e TABLEAU.			
1 ^o Fondations.....		21 76	
2 ^o Élévation.....		33 40	
TOTAL POUR LE PONT.....		54 86	

3^{me} Tableau. — Pont et Viaduc ensemble.

NATURE DES OUVRAGES.	QUANTITÉS.	DÉPENSES.	OBSERVATIONS.
1^o Fondations.			
Terrassements.....	0.30	0 75	
Dragages.....	0.20	1 65	
Charpente.....	0.008	0 80	
Ferronnerie.....	0.60	0 73	
Béton.....	0.10	1 67	
Maçonnerie de libages.....	0.04	1 93	
Maçonnerie de moellons d'appareil.....	"	" "	
Maçonnerie de remplissage.....	0.04	0 29	
Enrochements.....	0.06	0 70	
Episements.....	"	0 31	
Travaux divers.....	"	0 50	
DÉPENSE TOTALE....	"	9 53	
2^o Élévation.			
Maçonnerie de libages.....	"	0 03	
Maçonnerie de pierre de taille..	0.05	6 04	
Maçonnerie de meulière piquée..	0.03	3 23	
Maçonnerie de remplissage.....	0.18	5 66	
Voûtes de décharge.....	0.02	0 83	
Chapes et enduits.....	0.12	0 52	
Clôtures et échafaudages.....	"	4 13	
Travaux divers.....	"	0 03	
DÉPENSE TOTALE....	"	20 44	
RÉCAPITULATION DU 3^{me} TABLEAU.			
1 ^o Fondations.....		9.53	
2 ^o Élévation.....		20.44	
TOTAL pour le viaduc et le pont ensemble..		29.97	

NOTE

sur le profil nouveau donné aux barres des poutres treillisées des ponts en treillis sur l'Eypel et la Gran,

PAR CH. MUNTZ,

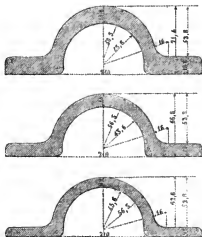
M. Ruppert, ingénieur-constructeur du pont d'Offenbourg, actuellement ingénieur en chef des travaux de la Compagnie privilégiée des chemins de fer autrichiens, vient de construire deux ponts à treillis dans lesquels il a donné aux barres formant les poutres treillisées un profil heureusement imaginé, qui tout en permettant de réduire considérablement le poids de la superstructure des ponts, présente une grande résistance verticale jointe à une parfaite rigidité.

Chacun des ponts construits comporte trois ouvertures. Le premier, sur l'Eypel, à Szopp, près Gran, en Hongrie, a une travée centrale de 56^m90 et deux latérales, chacune de 44^m60 d'ouverture, en sorte que le débouché total est de 146^m10. Le second, sur la Gran, dans le même pays, présente des dimensions presque semblables; la travée centrale a 50^m60, chacune des deux latérales a 43^m25, soit une ouverture totale de 137 mètres. Ses ponts sont à deux voies avec deux poutres treillisées; celles du premier ont 158^m60 de longueur sur 6^m90 de hauteur.

L'ingénieur a maintenu le principe du pont d'Offenbourg, employé avant lui dans celui de la Boyne, près Drogheda, et n'a employé aucune construction ou disposition spéciale destinée à donner aux treillis une plus grande rigidité verticale. Ce principe de construction n'avait pas été imité, puisque dans le pont, sur le fanal royal à Dublin, construit dans le même système, la rigidité verticale a été insuffisante, qu'elle

a laissé à désirer dans le pont de la Boyne, et qu'elle n'a été obtenue dans le pont d'Offenbourg qu'en donnant de très-fortes dimensions aux barres plates formant les treillis qui ont ainsi augmenté le poids et le prix de revient de la superstructure.

Pour les ponts sur l'Eypel et sur la Gran, M. Ruppert a abandonné la forme rectangulaire des barres des treillis et a imaginé le profil représentant un demi-cylindre creux garni de rebords sur le prolongement du diamètre. Ce profil représenté ci-contre lui a permis de se passer entièrement des cornières et des fers en T qu'on place ordinairement à des distances plus ou moins rapprochées verticalement sur les treillis pour leur donner la rigidité verticale nécessaire; celle-ci étant déjà donnée par la forme du profil de la barre, il a été possible de diminuer considérablement le poids et par là le prix de la superstructure.



A l'endroit où deux barres du treillis viennent à se croiser, on a interposé une plaque carrée en tôle ayant 0^m24 de côté, qui a été solidarisée avec elles par quatre rivets de 0^m026 de

diamètre placés sur les rebords des demi-cylindres. Cet assemblage a été fait avec les précautions suivantes : les trous, après avoir été équarris au diamètre voulu, ont reçu les rivets qui ont été enfoncés avec force et préalablement tournés avec soin, et dont les têtes ont été rivées à froid. Cet assemblage solide des barres du nouveau profil donne aux treillis une grande rigidité et une forte résistance verticales, et nous font considérer l'ensemble de la disposition comme un progrès réel fait dans la construction des poutres treillisées à grandes portées. Il permet de diminuer le poids des barres tout en les espaçant bien plus que dans la construction ordinaire, la diagonale des carrés formés par leur intersection pouvant être portée de 1^m50 jusqu'à 3 mètres, suivant les cas. En diminuant ainsi le poids de la superstructure, il résulte de l'économie de matière une économie de construction.

Dans les deux ponts en question la résistance a été calculée dans la supposition d'une charge accidentelle de 1,600 kilogrammes par mètre courant et environ, avec un coefficient du demi de la charge d'écrasement, et le mètre courant de la superstructure du pont à deux voies ne pèse que 2,900 kilogrammes, tandis que, dans tout autre système de construction, il aurait dû être porté à au moins 4,400 kilogrammes pour présenter la même sécurité.

L'économie de construction est donc au moins de un quart, et elle serait encore bien plus forte pour un pont à très-grande portée. Quelques calculs faits à ce sujet font espérer que, dans ce cas, elle pourrait aller à moitié du prix de revient des constructions actuelles.

On signale encore comme un avantage la grande facilité que présente la fabrication des barres en forme de demi-cylindre avec rebords, qui, avec le même laminoir dont on rapproche plus ou moins les cylindres, peuvent être produites à la longueur voulue avec des épaisseurs différentes néces-

saires, suivant les places des treillis où elles doivent être employées.

Le fer employé dans cette construction a été payé à raison de 105 francs les 100 kilogrammes; ce prix comprend l'assemblage et le montage, mais le transport en plan des treillis et le prix de revient des échafaudages restent à la charge de l'administration; en sorte qu'on a payé pour la superstructure en fer..... 929,660 fr.

Et pour la fonte servant de supports sur les piles, environ 70,000

Soit en tout et en chiffre rond. 1,000,000
ou par mètre courant..... 3,535 fr.

DESCRIPTION

DU PONT SUR LA NOGATH A MARIENBOURG, CHEMIN DE FER DE L'EST DE LA PRUSSE.

(D'après les données de M. LARAT, traduit de l'allemand par M. MOUTA.)

Emplacement du
pont et études
du projet.

Le passage choisi pour l'établissement de ce pont est en aval du château de Marienbourg, et à 40 mètres en amont d'une vieille tour dite Buttermilchthurm, terminant sur la rive droite les fortifications du moyen âge de la ville. A cet endroit le lit de la rivière, malgré le rétrécissement qu'il subit par l'établissement de la pile, reste plus large que dans les parties supérieures ou inférieures au pont.

La Nogath, qui ne forme qu'une dérivation de la Vistule, charrie comme elle beaucoup de glaçons ; pour faciliter autant que possible leur passage, on n'a établi qu'une pile au milieu de la rivière. Le bas-fond de la rive gauche et les digues de la rive droite ont été franchis chacun par une arche voûtée de 16^m33 d'ouverture. Les deux travées principales ont chacune 97^m92 d'ouverture. La pile du milieu a 6^m90 de largeur ; chacune des piles sur les rivages a 6^m28 de largeur.

La culée gauche renferme extérieurement aux digues de la Nogath, les fondations de deux avant-corps latéraux carrés ayant 11^m61 de côté, destinés à être surbâti de voûtes très-solides et pouvant loger chacune deux pièces de canon. Elle est de plus percée d'une voûte de passage pour le service de l'artillerie. La longueur totale de la culée est de 18^m51.

Pour la culée droite on n'a pas demandé l'établissement d'avant-corps servant à la défense du pont ; ses murs en retour ont été raccordés d'un côté avec la maçonnerie de la

vieille tour (Buttermilchthurm), de l'autre avec le revêtement du quai. La longueur totale est de 13^m02.

La longueur totale du pont est donc :

1° La longueur de la culée gauche.....	18 ^m 51
2° La longueur de la culée droite.....	13 02
3° L'ouverture de deux arches voûtées, chacune de 16 ^m 33.....	32 66
4° La largeur réunie des deux piles de rive, chacune de 6 ^m 28.....	12 56
5° L'ouverture des deux grandes travées, cha- cune de 97 ^m 92.....	195 84
6° La largeur de la pile du milieu.....	6 90
Total.....	<u>279^m49</u>

Il reste, pour le passage de l'eau, entre les piles et leurs enrochements, un profil dépassant de 12 pour cent celui de la rivière en amont et en aval du pont. De plus, on peut admettre que le courant approfondira le lit de la rivière entre les enrochements des piles d'une quantité au moins égale à la section de celle du milieu.

La superstructure du pont est formée de deux treillis. Dans l'intérêt de la défense elle devait être cachée à l'ennemi autant que possible, et se trouver par conséquent à un niveau minimum. Pour cette raison, l'arête inférieure des treillis n'a été qu'à 3^m28 au-dessus du niveau des plus hautes eaux observées, et le niveau du rail comparé à cette arête a été placé de 0^m78 plus bas que dans le pont de la Vistule. En effet, dans le pont de la Vistule il se trouve à 1^m88 en contre-haut de l'arête inférieure des treillis, tandis que dans celui de la Nogath il n'est qu'à 1^m10.

Description
du pont

Les treillis ont, au-dessus du rail, une hauteur de 6^m36, et

comme ils descendent de 1^m10 au-dessous du même niveau, leur hauteur totale n'est que de 7^m46.

Les voies ferrées et charretières, de même que les passerelles pour les piétons, sont organisées de la même manière que celles correspondantes du pont de Dirschau.

Les bateaux avec leurs mâtures ne pouvant franchir le pont, on a établi sur la rive gauche, en avant et en arrière du pont, des grues servant à enlever et à remplacer les mâts. Cette disposition est la même que dans le pont de la Vistule, et la manœuvre pour enlever un mât et le replacer demande moins de temps que n'en aurait demandé celle d'un pont tournant.

Les piles et les culées ont été fondées sur pilotis, à l'exception de la culée droite. Sur la rive gauche on avait bien rencontré une couche de sable fin, ne renfermant que très-peu de limon tout en ayant 15^m30 de puissance ; mais ce sable n'étant pas solidement tassé ne convenait guère pour fondations, et pour cette raison on a également partagé et enfoncé 354 pilotis sur une surface de 453^m60. La pile se trouvant à l'abri des affouillements par les enrochements garantissant les digues, on n'a enlevé le sol que jusqu'à 0^m30 en contre-bas du zéro de l'échelle de la rivière.

Sur la rive droite on a rencontré à l'emplacement de la culée un sable jaune formant des couches solides et ne laissant reconnaître qu'à la profondeur de 15^m20 et de 16 mètres au-dessous du niveau des eaux moyennes un mélange très-faible de limon. L'emplacement de cette culée droite se trouvait encombré par les matériaux renversés d'un ancien mur de quai fondé sur des pilotis dont les pointes se prolongeaient à peine jusqu'à 1^m70 au-dessous de zéro de l'échelle ; cette profondeur a été choisie pour y commencer le massif des fondations.

Le sol sablonneux était de nature bien différente aux places

respectives des deux piles de rivo, en sorte que, pour une même base de 131^m60; on a employé 212 pilotis sur la rive gauche, et seulement 151 sur la rive droite pour arriver à faire présenter au terrain de fondation une résistance à peu près uniforme. Le massif de ces deux piles a été fondé à 3^m14 en contre-bas du zéro de l'échelle.

La base de la pile du milieu forme une surface de 326^m25 ; on y a réparti uniformément 278 pilotis, et le massif a été commencé à 4^m10 au-dessus du même zéro.

Le restant de la construction de ces piles et culées est semblable à ce qui a été fait pour le pont de la Vistule.

La superstructure unique pour les deux travées est en fer et dans le système des treillis. Ces treillis sont calculés de manière à ce que leurs différentes parties soient soumises à des efforts uniformes sous l'action d'une charge moyenne passagère.

Les poutres treillisées étant très-peu hautes par rapport à leur longueur, leurs encadrements diffèrent de ceux du pont de la Vistule, en ce que les feuilles ou plaques de tôle horizontales (M pl. 45) s'étendent par gradations en haut et en bas de la voie. Simples d'abord et doubles au-dessus de la pile du milieu, elles augmentent suivant les lois de la statique. Elles sont reliées aux feuilles verticales par des cornières qui règnent sur toute leur longueur.

Toute la superstructure a beaucoup d'analogie avec celle de la Vistule, et devient intelligible par les planches.

DESCRIPTION

DU PONT SUR LA VISTULE A DIRSCHAU, SUR LE CHEMIN DE FER DE L'EST DE LA PRUSSE.

(Extrait de Zeitschrift für Bauwesen, années 1854 et 1855, par M. MUYZ.)

Emplacement
du pont et études
du projet.

Le pont sur la Vistule, à Dirschau, compte parmi les travaux d'art les plus grandioses et les plus intéressants qui aient été construits dans les dernières années; il prend une place honorable à côté des ponts de Menaie et de Conray.

L'emplacement le plus favorable à son établissement a été déterminé par une Commission spéciale; nous ne voulons pas suivre et développer les raisons qui ont fait préférer le passage de la Vistule à Dirschau, c'est-à-dire en aval de la bifurcation du fleuve qui a déjà abandonné une partie de ses eaux à la Nogath. Il nous suffira de dire que cette décision qui a motivé le passage par le Delta de la Vistule, et la construction de deux ponts, l'un à Dirschau, sur la Vistule, et l'autre à Marienbourg, sur la Nogath, a été prise à l'unanimité par la Commission qui a reconnu le passage par Dirschau le plus favorable sous les rapports technique et commercial ainsi que sous celui de la défense du pays.

Nous essayerons, dans les lignes suivantes, de donner un aperçu général du pont; le temps nous manque pour donner une description détaillée de ce travail remarquable.

Le régime de la Vistule présentant entre les plus hautes et les plus basses eaux une différence de niveau de 6 mètres, et le fleuve charriant des glaçons plus grands et en bien plus grande quantité qu'aucun autre cours d'eau de l'Allemagne, il était convenable de construire un pont à très larges ouver-

tures, permettant à l'énorme masse de glaçons de passer sans obstacle.

Les grandes ouvertures exigées pour le pont et le peu de hauteur qu'on pouvait lui donner s'opposaient à l'établissement d'un pont voûté en maçonnerie. On s'arrêta alors pendant quelque temps à l'idée d'un pont suspendu. L'expérience qui, en France, n'a pas été très-favorable à ce genre de ponts, fait abandonner cette idée. Les locomotives devant franchir le pont avec toute sécurité, on avait à choisir entre un pont tubulaire ou un pont à treillis : l'on s'est arrêté à ce dernier système.

Le pont est à travées, chacune de 121^m147 d'ouverture ; chacune des cinq piles a 9^m73 d'épaisseur ; la distance entre les deux culées est donc de 775^m53, et le débouché libre de 726^m88. Les dernières hautes eaux jaugées formaient sous le pont une section de 3,740 mètres carrés ; leur vitesse moyenne était de 1^m40, et la vitesse maxima de 2^m90.

Description.

Les piles du pont sont fondées sur une couche de béton reposant sur des pilotis. Pour commencer on a établi autour de l'emplacement où devaient se trouver les piles une première enceinte de pieux dont les côtés parallèles étaient distants de 31^m40. Cette enceinte formée, l'intérieur en fut dragué au moyen de deux machines marchant à la vapeur, qui extrayaient un sable quartzeux assez grossier formant un sol très-résistant pour y fonder, à la condition toutefois qu'il fût garanti contre les affouillements. Pour sortir 100 mètres cubes au moyen de la drague, les machines ont consommé 110 kilogrammes de coke. Pendant l'opération on a rencontré un grand nombre de troncs d'arbres enfouis dans le sable : ils furent sortis et il ne s'en est plus présenté au-dessous de la surface formée par le draguage.

Fondation
des piles.

Le sol ayant été dragué à la profondeur voulue, c'est-à-dire à 5^m96 au-dessous du zéro de l'échelle de la Vistule à

Dirschau; on s'est mis à battre la seconde enceinte formée de pieux de 0^m31 de diamètre se trouvant très-rapprochés. Les côtés parallèles de cette seconde enceinte sont distants de 15^m70, et limitent une surface de 435 mètres carrés. Les pieux furent battus avec la sonnette à vapeur de masmythe (dont deux fonctionnaient par pile). Le plus grand travail hebdomadaire des deux sonnettes a été de 100 pieux. Le mouton, pesant 1,800 kilogrammes, avait 0^m95 de course. Les pieux furent enfoncés autant que possible, c'est-à-dire entre 6^m30 et 7^m00 au-dessous du fond dragué.

L'eau près de la première pile n'avait que 1^m25 de profondeur; elle allait en augmentant à mesure qu'on s'éloignait du rivage, et atteignait 7^m30 vers le milieu. Les affouillements pour les piles sont peu à craindre, l'espace entre les deux enceintes ayant reçu un enrochement d'environ 6,700 mètres cubes de pierres par pile.

Les pilotis, au nombre de 257, ayant été battus dans la seconde enceinte furent sciés à 0^m30 en contre-haut du fond dragué, et il y fut coulé une couche de béton de 3^m14 d'épaisseur, soit 1,375 mètres cubes par pile. Au bout de huit mois le béton avait acquis la dureté des pierres ordinaires de construction.

Le béton fut coulé avec des caisses cubant environ 0^m09; on a fabriqué et employé par jour jusqu'à 134 mètres cubes.

Une paroi en béton de 0^m93 d'épaisseur fut formée tout autour de la couche de fondation et touchant les pieux de l'enceinte; elle fut élevée au niveau des eaux moyennes, et surhaussée au besoin d'une maçonnerie en brique. De cette manière on obtenait une chambrée parfaitement étanche, dans laquelle on pouvait, après l'avoir épuisée, poser à sec la première assise des piles.

Les entêtes des piles sont semblables en amont et en

aval; elles ont 120 degrés, et leurs côtés sont arrondis avec les surfaces parallèles des piles.

Construction
des piles.

Les piles sont construites avec beaucoup de soin. L'intérieur en est formé de maçonnerie en briques avec mortier hydraulique. Toutes les parties extérieures qui peuvent venir en contact avec l'eau ou les glaçons sont en pierres de taille, qui vont jusqu'au tablier du pont dans les entêtes, et jusqu'à 10^m20 au-dessus de zéro sur les côtés parallèles. A 4^m34 au-dessus de zéro on s'est servi pour les côtés parallèles des piles de grès de qualité supérieure (grès de Hesse), tandis que pour tout le restant on a employé le granit ou une lave basaltique, cette dernière principalement pour les parties les plus exposées. Les pierres de taille entrent alternativement dans la maçonnerie inférieure à 0^m60, ou 0^m90 dans les assises supérieures, et à 2^m20 dans les assises inférieures. Dans les assises inférieures il y a deux rangées de pierres de taille dont l'intérieur en grès de Porta. On a de plus employé dans la maçonnerie intérieure des pierres de taille en grès, ayant jusqu'à 3 mètres cubes en entrant dans l'intérieur des entêtes en arrière des courbes extérieures de lave basaltique. Des crampons en fer galvanisé recouvert d'asphalte servent encore à solidariser les différentes pierres. Pour répartir uniformément la charge à porter, les piles ont été couronnées de deux assises de pierres ayant toute la largeur de celles-ci. L'assise supérieure est en lave basaltique et celle qui lui est inférieure en grès.

Les culées sont construites comme les piles, elles sont également entourées d'une enceinte de palplanches et d'un enrochement. La fondation sur pilotis a été jugée inutile, vu le bon fond de sable quartzeux très-pur et à gros grain qu'on a rencontré, et vu le grand développement que présente la base du béton qui occupe 973 mètres carrés de surface. L'une des culées est fondée à 1^m20, l'autre à 1^m80 de moindre profondeur que les piles. Les parties vides entre les murs en re-

tour des culées ont été remplies d'une masse formée par le mélange d'une partie de mortier sur six parties de sable.

Les piles et les culées ont été surmontées de tourelles crénelées qui, en contribuant à l'ornementation du pont, servent en même temps à maintenir les treillis dans une position verticale.

Superstructure,
tablier et treillis.

La superstructure se compose de trois parties différentes dont chacune couvre deux travées, et repose sur trois piles ou culées. Le tablier du pont est porté par deux poutres treillisées de 11^m80 de hauteur, dont la longueur de 259^m56 est formée de pièces de dimensions différentes calculées de manière à présenter, de 2 mètres en 2 mètres, une résistance uniforme tant au poids permanent du pont qu'aux charges accidentelles maxima qu'il aura à supporter.

L'arête inférieure des treillis est à 12^m55 et la voie ferrée à 14^m44 en contre-haut de l'étiage. Les treillis sont distants de 6^m27, et, dans cette largeur, se trouve au milieu la voie ferrée et des deux côtés les voies charretières qui ne sont nullement séparées, le passage des voitures étant interdit pendant qu'un train se trouve engagé sur le pont. Le mouvement des voitures étant éminemment faible, cette disposition ne présente pas d'inconvénients. Extérieurement aux treillis se trouvent des trottoirs de 0^m95 de largeur à l'usage des piétons.

Les matériaux de construction employés sont soumis à des efforts moindres que dans les ponts Britania et Conway, et cela dans le rapport de 1,000 à 1,327. Aussi le pont de Conway dont la longueur n'est que de 0^m75 plus grande que celle d'une travée de pont de Dirschau, a-t-il, lors des expériences faites par le commissaire du gouvernement, éprouvé une flexion de 0^m039 sous une charge uniforme de 1,925 kilogrammes par mètre courant, tandis que celle du pont de

la Vistule n'a été que de 0^m016 sous une charge de 3,200 kilogrammes par mètre courant.

Les poutres treillisées, formées de deux encadrements, l'un supérieur, l'autre inférieur, réunis par un treillage, sont calculées de manière à ce qu'une charge maxima passagère de 3,200 kilogrammes par mètre courant n'exerce pas une pression ou une traction de plus de 730 kilogrammes par centimètre carré. Le pont étant vide, cet effort n'est que de 548 kilogrammes par centimètre carré.

Les barres les plus fortes des treillis ont 0^m130 de largeur sur 0^m026 d'épaisseur ; les plus faibles n'ont que 0^m104 sur 0^m013 ; elles se croisent à angle droit et sont distantes dans les deux sens de 0^m63. Les extrémités de ces barres dépassent en haut et en bas les plaques verticales de tôle des encadrements horizontaux, et cela de la quantité nécessaire pour recevoir les boulons qui les unissent.

Les extrémités des poutres treillisées sont garnies sur les deux faces de cornières ayant 0^m104 d'un côté et 0^m136 de l'autre. Destinées à rendre rigides, elles se répètent en bandes verticales sur toute la longueur des treillis. Au milieu des travées, leur espacement est de 1^m90, et se réduit à 0^m95 au-dessus des piles. Les cornières ainsi que les barres du treillis sont d'une seule pièce dans toute leur longueur. Des plaques en tôle allant de l'encadrement supérieur à l'inférieur, d'une largeur égale à celle des feuilles horizontales de l'encadrement, sont rivées parallèlement au plan des treillis contre les 9 cornières verticales extérieures se trouvant au milieu du treillis au-dessus de la pile sur laquelle elle repose, de même que sur les 4 cornières extrêmes. Les bords des feuilles horizontales de l'encadrement et ces plaques verticales sont réunis par un second treillis, rivé contre les bords des premières par l'intermédiaire d'une cornière.

Les encadrements inférieurs et supérieurs des treillis sont

formés longitudinalement de feuilles de tôles verticales et horizontales ayant 3^m75 de longueur, des largeurs variables allant de 0^m392 à 1^m412 et des épaisseurs de 0^m010, 0^m013 et 0^m016 réunies par des cornières de deux dimensions, les une pesant 23^k300, les autres 12^k600 par mètre courant. Les joints des tôles et des cornières sont solidarisés par des plaques de recouvrement vidées à chaud.

Les encadrements supérieurs des deux poutres treillissées sont encore renforcés par les barres-cornières qui les unissent et les tiennent à distance. Les extrémités d'une partie de ces barres ont été recourbées de manière à embrasser en même temps les feuilles horizontales et verticales dont sont formés les encadrements, tandis que d'autres embrassent leur section entière.

Les encadrements inférieurs sont reliés par les traverses (poutres transversales) qui portent les voies et par celles des trottoirs. Les traverses sont éloignées de 0^m63 comme celles supérieures.

La construction supérieure entière repose invariablement sur les piles n^o 1, 3 et 5. Tous les autres points des piles ou culées sont munis de rouleaux pour faciliter le jeu de la dilatation.

NOTE

SUR LES PONTS A CULÉES PERDUES ET SUR LE PONT-ROUTE
DE GUIGNICOURT,

par M. MANTION Ingénieur.

Le système des ponts à culées perdues est adopté d'une manière générale par la Compagnie du chemin de fer du Nord. Il a été appliqué, pour la première fois, à tous les ouvrages d'art en maçonnerie de la ligne de Laon à Reims, et depuis lors à tous ceux de la ligne directe de Paris à Creil.

Nous ne dirons rien ici des ponts à culées perdues pour passages supérieurs au chemin de fer. Exécutés sur ces mêmes lignes, ils deviennent chaque jour d'un emploi plus général.

Mais les ponts à culées perdues pour passages inférieurs aux chemins de fer sont encore moins connus, et nous allons chercher, en même temps que nous en donnons plusieurs exemples, à faire connaître les divers avantages qu'ils présentent.

Considérons d'abord le cas le plus simple, celui où le sol est solide, où le passage s'établit à angle droit et où la différence de niveau entre le chemin traversé et la voie de fer donne à peu près sous clef la hauteur légale. Traçons le niveau du terrassement du chemin de fer, le profil du chemin traversé, et deux talus à 45° à gauche et à droite donnant l'inclinaison des quarts de cône, talus que nous prolongeons jusqu'au-dessus du ballast.

Ajoutons des deux côtés $0^m,20$ ou $0^m,30$ de largeur pour la pénétration des parapets dans le remblai, et par les extrémités de la longueur totale ainsi obtenue au niveau du ballast,

abaissions deux verticales jusqu'au solide. Cherchons ensuite quelle est la plus grande voûte qu'on puisse inscrire dans le rectangle formé par l'horizontale du sol, celle du règlement des terrassements et les deux verticales ci-dessus définies, nous aurons le type de ponts à culées perdues.

La longueur du rectangle est égale au diamètre de la voûte, augmenté de deux fois l'épaisseur nécessaire à la culée. Les murs en retour (ou plutôt le peu de maçonnerie qui remplace les murs en retour) n'exigeront aucune fondation spéciale; ils seront appuyés sur les reins de la voûte. On leur donnera dans la partie centrale une épaisseur réduite de 0^m,60 environ, puis cette épaisseur croîtra uniformément jusqu'à l'extrémité, où on la calculera en raison de la hauteur de ces murs au-dessus du point le plus bas de l'extrados.

Certains ingénieurs ont cru devoir proscrire les ponts à murs en retour pour adopter exclusivement les ponts à murs en aile. Au point de vue de la dépense, la différence entre les deux systèmes paraît insignifiante; mais on reproche aux murs en retour, tels qu'on les construit ordinairement, d'être souvent ébranlés et poussés au vide par le passage des trains. On trouverait cependant aisément des centaines de ponts à murs en retour qui n'ont éprouvé aucune déformation. Ce n'est donc là qu'une question d'épaisseur un peu plus forte à donner à ces murs.

Il est vrai que les augmentations d'épaisseur peuvent influencer notablement sur la dépense dans les murs en retour ordinaires; mais, dans le cas qui nous occupe, où ces murs n'ont qu'une hauteur moyenne très-réduite, on n'hésitera pas à leur donner un excès de stabilité, à prendre pour l'épaisseur les 0^m,35 ou 0^m,40 de la hauteur, et on sera à l'abri de tout danger. Il importe surtout d'éviter la faute, trop fréquemment commise, de réduire l'épaisseur vers l'extrémité des murs; c'est là, au contraire, qu'elle atteindra son maximum.

Le cas que nous venons d'examiner est le plus simple,

mais n'est pas le plus fréquent. Les conditions impérieuses du tracé des chemins de fer font que presque toujours on a trop ou trop peu de hauteur sous clef.

A la limite minima, on est conduit à employer la tôle ou la fonte; mais, sans aller aussi loin, on est souvent amené à avoir recours aux points en arc de cercle. Cette forme, irrationnelle au point de vue de la stabilité comme toutes les formes discontinues, sera inutile avec le type de ponts à culées perdues. L'administration a admis, en effet, qu'il suffisait que la hauteur légale de 4^m,30 fût observée à l'aplomb du fond des ruisseaux latéraux, ce qui permet de descendre notablement au-dessous des 5^m,00 sous clef que fixent les cahiers des charges. On peut donc adopter le type à culées perdues avec cette hauteur réduite.

Un autre cas se présente souvent où la hauteur du remblai est insuffisante pour l'établissement d'un passage inférieur. Si alors rien ne s'oppose à ce qu'on établisse le passage en déblai, si on n'est pas limité dans la hauteur de la fouille, si on a l'emploi utile en remblai des terres provenant du déblai, on pourra adopter le type de ponts à culées perdues; et si, comme cela s'est présenté sur plusieurs points de la ligne directe de Paris à Creil, dans la forêt de Chantilly, le terrain solide est à peu de distance du terrain naturel, on pourra ne pas descendre la voûte jusqu'au niveau du chemin déblayé, mais bien s'arrêter sur le ferme. Ce sera pour ainsi dire le cas du minimum absolu des dépenses.

On a appliqué la même solution près de Gonesse, pour passer sur un chemin creux, déblayé naturellement d'environ 3^m,00 au-dessous du sol sur lequel le chemin de fer était en remblai de 2 mètres.

Si la hauteur du remblai est convenable, il arrivera souvent qu'on devra descendre à une certaine profondeur pour trouver le terrain solide. Cela se fera sans de grands empattements, comme l'indique la coupe, planche 23. Si la hauteur

du remblai devient considérable, on peut toujours tracer la voûte d'après le même principe. Nous donnons, dans les planches qui accompagnent ce numéro, les dessins du pont exécuté sur le chemin de Louvres à Puiseux, sous un remblai d'au moins 12 mètres. On a été conduit à un pont de 19 mètres d'ouverture.

Dans les grands ouvrages, il est important de prendre beaucoup de précautions au moment où l'on exécute le remblai. Lorsqu'on se limite à la hauteur de 5^m,00 sous clef, en consentant à allonger beaucoup la voûte, il faut remblayer tout l'ouvrage avec des terres qu'on transporte à la brouette et qu'on pilonne sur une assez grande largeur et une assez grande hauteur. Malgré cela, l'ouvrage est souvent chassé par le remblai.

Pour le pont du chemin de Louvres à Puiseux, on a poussé le remblai en avant jusqu'à ce que son pied atteignît la culée; on a alors posé sur la crête du remblai et sur l'arrière des murs en retour deux longues sapines soutenues en leur milieu par de légers étais, et on a fait passer dessus les wagons de terrassement basculant, tantôt d'un côté du pont, tantôt de l'autre, de manière à charger ce pont simultanément et symétriquement sur les deux culées.

Le même système a été appliqué jusqu'à des hauteurs de remblai encore plus grandes. Sur la ligne de Cambrai, comme sur celle de Paris à Creil, on trouve des voûtes à culées perdues dont l'ouverture atteint jusqu'à 24 mètres.

Enfin, nous dirons quelques mots d'une autre difficulté qui se présente fréquemment, celle des traversées obliques. Nous donnons le dessin du pont biais à culées perdues exécuté avec une largeur de trois voies, au bout de la station de Chantilly, sur un chemin de grande communication. L'appareil biais se prolonge jusqu'à 0^m,20 ou 0^m,30 en arrière du plan des talus et se termine sur la maçonnerie irrégulière formant le massif des culées. Pas de coussinets, pas de taille de sujétion, rien que l'appareil biais inévitable dans la voûte proprement dite.

Après avoir examiné l'application des ponts à culées perdues aux différents cas qui peuvent se présenter, nous allons les comparer aux ponts à murs en retour ou en ailes établis dans les mêmes circonstances.

Considérant d'abord le point de vue économique, on trouvera, dans le cas le plus simple, moins de cubo de maçonnerie, moins de parement, un peu plus de bois de cintres pour le pont à culées perdues que pour le type ordinaire à murs en retour. Cela se traduira finalement par une économie de 10 à 15 p. 0/0 dans les conditions ordinaires.

Si les matériaux non gélifs sont rares, on pourra réaliser des économies plus sérieuses, en employant des matériaux gélifs pour tout le massif des culées jusqu'à 0^m,50 ou 0^m,60 en arrière des parements vus. Sur la ligne de Laon à Reims, on a employé en certains points, pour ces culées, de la craie de médiocre qualité, qui s'est parfaitement comportée.

Si la fondation devient profonde l'économie ira toujours croissant, parce que l'établissement d'un pont à culées perdues n'exige que la fondation de deux surfaces rectangulaires peu étendues.

Pour fonder à 3 ou 4 mètres de profondeur, on trouverait une économie de 20 p. 0/0 environ en faveur du pont à culées perdues.

Lorsqu'on sera conduit à fonder sur pilotis, l'avantage du pont à culées perdues deviendra encore plus sensible, le nombre de pieux d'un grand pont sera beaucoup moins considérable que celui d'un ponceau. C'est ainsi que la Compagnie du Nord a été amenée à faire construire une voûte de 24 mètres d'ouverture dans un remblai de 14 mètres, pour donner passage à un ruisseau de 3 à 4 mètres qui coule sur un fond tourbeux.

Dans le cas des remblais de grande hauteur, l'économie relative sur le cube des maçonneries et les parements finit

par disparaître, les frais de cintres et de montage des matériaux vont croissant, et il reste une hauteur limitée où l'emploi du système doit être abandonné.

Nous avons vu que la Compagnie du Nord avait appliqué le système des culées perdues jusqu'à des hauteurs de remblai de 14 mètres. Il est difficile de dire où il conviendrait de s'arrêter, la limite dépendant de prix variables dans chaque localité; mais ce chiffre de 14 mètres est déjà élevé et il existe beaucoup de cas où il conviendra de renoncer au système pour des hauteurs de 9 à 10 mètres de remblais.

Le cas des passages biais augmente l'économie en faveur des ponts à culées perdues. En supprimant tout appareil de sujétion dans les retombées, on arrive par ce système à réduire les dépenses de 25 à 30 p. 0/0 dans le plus grand nombre des cas, et on économise d'autant plus que le biais est plus grand.

En résumé, le système de ponts à culées perdues offre des avantages sérieux au point de vue économique; ils deviennent d'autant plus sensibles qu'on s'éloigne plus des conditions normales, soit par le biais, soit par la difficulté des fondations.

En dehors du point de vue économique, ce type de ponts paraît appelé à rendre des services dans un grand nombre de cas particuliers dont nous citerons quelques-uns.

Les cahiers des charges imposent pour les passages inférieurs une largeur de 4, 5, 7 ou 8 mètres, selon l'importance des communications desservies. Presque toujours la largeur imposée est inférieure à celle du chemin lui-même. Il en résulte qu'avec les ponts à pieds-droits on produit sur les chemins traversés des étranglements d'un fâcheux effet; ils sont surtout regrettables, lorsque la route traversée est garnie de constructions latérales bien alignées. Ce cas se présentait à Guignicourt pour la traversée d'une route départementale dont la largeur était fixée à 11 mètres dans le village. Un

passage de 7 mètres aurait brisé complètement l'alignement. Tout en ne conservant pour la chaussée et les trottoirs qu'une largeur de 7 mètres, on a construit une voûte à culées perdues de 15 mètres d'ouverture, qui permet à l'œil de suivre l'alignement d'un bord à l'autre du chemin de fer sans obstacle. Cet ouvrage n'a coûté que 15,000 francs, tandis que le projet comparatif d'une voûte en arc de cercle avec pieds-droits et murs en aile s'élevait à 21,000 fr. Ce pont est attendant à la station de Guignicourt; la clôture de la station se continue sous le pont, ce qui met les maçonneries complètement à l'abri des atteintes du public.

On peut, du reste, faire remarquer d'une manière générale, que, dans ce type de ponts, on n'a nullement à redouter les détériorations causées par les piétons ou par les voitures.

Un autre cas intéressant s'est présenté près de la station de Loivre, entre Guignicourt et Reims. Un chemin vicinal de grande communication traverse le chemin de fer aux abords de la station. La Compagnie était tenue de faire un pont de 5 mètres d'ouverture; mais comme il est probable que l'importance de ce chemin va s'accroître à cause de la station de Loivre, et qu'il sera bientôt classé comme route départementale, on avait à craindre que le débonché du pont ne devînt insuffisant. Le type de ponts à culées perdues a permis de tourner la difficulté. On a établi une voûte de 12 mètres d'ouverture qui donne aujourd'hui passage à une voie de 5 mètres de largeur entre deux talus de remblai à 45°. Si un jour la largeur du passage doit être portée à 7 mètres, il suffira d'abaisser légèrement la route, de roidir les talus, en remplaçant le gazon par des perrés, et moyennant une faible dépense, sans gêner en rien la circulation, on aura transformé un passage de 5 mètres en un autre de 7 mètres. Dans cette prévision, on a ajouté à chaque retombée deux ou trois voussoirs en pierre de taille et quelques moellons de parement. Il suffira de les découvrir un jour, sans retoucher en rien à l'ouvrage principal.

Ce cas peut se présenter assez fréquemment, l'établisse-

ment des chemins de fer devant amener une perturbation profonde dans le classement des routes avec lesquelles ils communiquent.

On a souvent encore à établir un passage inférieur près d'un petit aqueduc, on peut alors loger l'aqueduc dans le pied des quarts de cône, en l'accolant à la route; on réduira ainsi sa longueur et la charge qu'il aura à porter, ce qui rendra sa construction plus économique. Ce cas s'est présenté dans la traversée du hameau des Fontaines dépendant de la commune de Saint-Maximin, sur la ligne directe de Paris à Creil.

Dans des conditions analogues, on peut adopter une autre solution. On peut laisser le ruisseau découvert, l'accoler au chemin traversé et ne faire qu'une seule voûte couvrant le ruisseau et le chemin. C'est le système qui a été suivi pour franchir le ruisseau de Rosno et un chemin latéral près de Gonesse.

Lorsqu'il s'agit de franchir un cours d'eau, ce type présente un autre avantage qu'il convient de signaler. Tandis que dans le type ordinaire le débouché se réduit à mesure que les eaux s'élèvent, dans celui-ci le débouché va en augmentant. Les crues exceptionnelles seront donc bien moins menaçantes.

La grande ouverture de la voûte sera une source d'économies dans les fondations des ouvrages sur cours d'eau. On pourra généralement placer les deux culées en dehors du lit du ruisseau, de manière à éviter les batardeaux, à supprimer ou réduire les épaissements.

Un cas de ce genre mais plus complexe s'est présenté pour la traversée du canal latéral à l'Aisne par la ligne de Laon à Reims.

Le canal est établi en remblai et l'ouvrage devait être fondé sur pilotis. En adoptant la solution la plus usitée, il eût fallu fonder des murs de soutènement dans le canal pour en opérer le rétrécissement et fonder dans ce même lit les culées et une partie des murs en retour d'un pont à piers-droits; de là,

grandes dépenses de pilotis, grande gêne pour la navigation, difficulté de poser les grillages et la maçonnerie jusqu'au dessus de l'eau pendant la courte durée du chômage.

Au lieu de cette solution, on a adopté un pont à culées perdues de 22 mètres d'ouverture; le fond du canal rétréci présente une largeur de 6 mètres; il est revêtu de perrés à pierros sèches inclinées à 45°; puis viennent les banquettes de halage et contre-halage et les quarts de cône du remblai. L'exécution des perrés n'exigeait aucune fondation, et la durée du chômage était plus que suffisante pour permettre de les achever. On a battu les pieux des culées pendant la navigation, en dehors de la section du canal, à raison de trente-deux pieux par culée, chiffre extrêmement réduit; on a pu les recevoir et les couvrir de maçonnerie sans autre précaution que quelques étalements sans imposer aucune gêne à la batellerie. On comprend aisément, d'après cela, quelles facilités le type de ponts à culées perdues peut procurer pour les passages à établir sur des lignes de navigation d'une certaine importance.

Un ingénieur russe, examinant ces ouvrages d'art fût immédiatement frappé des avantages qu'ils présentent pour les climats rigoureux. La grande section du débouché doit, en effet, rendre moins nuisibles les amas de neiges. A un dernier point de vue, on peut faire remarquer que les longs passages que le système ordinaire conduit à établir sous les remblais d'une grande hauteur sont trop souvent des cloaques et de vrais coupe-gorges. Dans le type à culées perdues, la longueur de la voûte ne varie pas, et la chaussée inférieure est d'autant plus dégagée et d'autant plus saine que le remblai est plus élevé.

L'emploi du système n'est pas limité au cas d'ouvrages d'une seule arche; il a été appliqué aux grands viaducs de Chantilly et de Comelle, dont les arches extrêmes sont à culées perdues dans les remblais. La poussée des terres produit souvent des effets désastreux sur les culées des grands ou-

vrages, et pour la combattre on est conduit à employer des cubes de maçonnerie considérables. Ici l'on a adopté les dimensions ordinaires des ponts à culées perdues. On avait précédemment exécuté, d'après les mêmes idées, le pont-route de Guignicourt, sur l'Aisne, dont le projet primitif ne supposait pas de passage inférieur et présentait des quarts de cône inclinés à 45°.

Ici se terminent les considérations que nous voulions présenter sur le système de ponts à culées perdues. Nous pensons qu'il deviendra bientôt d'un emploi général. Déjà on l'adopte pour certains ouvrages des chemins lombards et du réseau central de la France.

Nous compléterons cette note par des renseignements assez étendus sur le pont-route de Guignicourt, qui, ainsi que nous venons de le dire, rentre dans le même type, mais présente en même temps des combinaisons nouvelles appartenant à un ordre d'idées tout à fait différent.

La ligne de Laon à Reims traverse la vallée de l'Aisne, au bout du village de Guignicourt, où l'on a établi une station. Sur l'autre rive se trouvent plusieurs villages que cette station est appelée à desservir. On arrive de Laon vers Guignicourt par une grande tranchée ; puis le terrain s'abaisse rapidement et l'on traverse la vallée sur un remblai de 12 à 13 mètres, dont la plus grande longueur se trouve sur la rive opposée à la tranchée.

Avant l'établissement du chemin de fer, Guignicourt ne communiquait avec les villages de la rive gauche que par un bac, dont le service était quelquefois interrompu pendant des mois entiers par les crues de l'Aisne, qui couvraient toute la largeur de la vallée. Lorsque les projets du chemin de fer furent arrêtés, les divers villages intéressés s'adressèrent à la Compagnie du Nord pour demander qu'on les reliât par un pont sur l'Aisne. Après d'assez longues discussions et formalités, la Compagnie consentit à établir un passage sur l'Aisne, à l'aide du pont du chemin de fer, à la condition que les dé-

penses supplémentaires fussent couvertes par la concession d'un péage au même tarif que l'ancien bac, la suppression d'un passage projeté à peu de distance de l'Aisne et son remplacement par des chemins latéraux, et enfin une subvention du ministère de l'intérieur. Le projet primitif du pont s'élevait à 220,000 francs ; l'établissement du passage entraînait une augmentation de dépenses de 30,000 francs. Celui des chemins d'accès et d'une levée insubmersible de 500 mètres de longueur était évalué à 20,000 francs. Le chiffre de 50,000 francs fut couvert comme il a été dit ; la subvention du ministère de l'intérieur fut de 10,000 francs.

L'Aisne, exigeant un débouché de 50 mètres, le prix d'un pont suspendu ordinaire eût été d'au moins 50,000 francs, indépendamment des chemins d'accès. En se servant du pont du chemin de fer, on a donc réalisé une économie de près de moitié.

Nous ne donnons pas ici la description de l'ouvrage que nos planches font assez comprendre.

On voit de suite quels avantages la solution adoptée présente relativement aux ponts suspendus ordinaires.

Le tablier est abrité, et par conséquent l'on peut espérer une durée bien supérieure à celle des tabliers ordinaires. Les tiges sont rayonnantes au lieu d'être parallèles et suspendues à un point fixe, au lieu de l'être à un câble. D'où résulte que le tablier est sensiblement fixe, et qu'on n'a pas à redouter les oscillations dangereuses des ponts suspendus à câbles. Ces câbles sont la partie la plus risquée de ces constructions, celle qui se dégrade vite et dont la solidité n'est jamais bien certaine ; l'absence de câble fait disparaître ici tous ces inconvénients. Le câble se fût difficilement prêté à l'établissement des abords curvilignes sous les arches latérales. Les tiges rayonnantes ont fait disparaître cette difficulté. On a pu établir le pont à quatre entrées, qui permettent de communiquer à volonté d'une rive à l'autre de l'Aisne et de l'amont à l'aval du chemin de fer.

L'étude des détails a présenté des problèmes intéressants quoique assez simples.

Les poutrelles de la travée centrale sont toutes semblables, mais celles des travées latérales présentent des hauteurs croissant avec leur longueur ; les plus longues sont d'ailleurs soulagées par des sous-poutres qui ont permis de considérer les surcharges comme se répartissant sur trois poutrelles à la fois. Les tiges rayonnantes de la travée centrale sont symétriques de part et d'autre de la verticale ; il n'en est pas de même de celles des travées latérales dont le point d'amarrage a été choisi à l'aplomb du centre de gravité du tablier curviligne.

Les plaques d'assemblage de ces tiges sont planes pour la travée centrale ; afin de réduire leur étendue, on a établi les trous de boulons sur deux rangs concentriques. Les plaques des travées latérales sont coniques, toutes les tiges se trouvant sur une portion de cône facile à déterminer.

Les tiges d'amarrage sont au nombre de deux pour chaque plaque. Leur obliquité a été calculée de telle façon que la résultante du poids mort du tablier et des surcharges accidentelles placées dans les positions les plus défavorables passât toujours dans l'angle formé par ces tiges, ce qui assure la stabilité du sommet des plaques d'assemblage.

Ces tiges se terminent par un pas de vis et un écrou reposant sur une plaque de fonte à nervures qui elle-même s'appuie sur des dés en pierres et de petits massifs en maçonnerie. Le tout est recouvert de cloches en fonte qui permettent de visiter et au besoin de régler les tiges d'amarrage.

Ces cloches en fonte sont placées le long du parapet, de manière à ne pas gêner le passage des trains.

Cette disposition a conduit à donner à la suspension un certain évasement qui contribue à la stabilité du tablier. Mais cet évasement et la forme conique des suspensions latérales donnaient naissance dans les arches de rive à des forces

qui tendraient à écarter les plaques d'assemblage l'une de l'autre. Aussi a-t-on eu soin de relier ces plaques entre elles dans les travées latérales, à l'aide d'un tirant articulé qui s'oppose à leur écartement. Les extrémités du tablier reposent sur des murs de soutènement de profil courbe qui ne présentent qu'une épaisseur uniforme de 1^m,25 pour une hauteur de 7 mètres. Il est aisé de s'assurer que, quel que soit le point de la hauteur de ces murs que l'on considère, ils présentent un moment de stabilité très-suffisant. Ils n'ont, en effet, éprouvé aucun mouvement, bien que leur épaisseur uniforme ne soit que les 0^m,18 de leur hauteur. Indépendamment des dispositions définitives de cet ouvrage sur lesquelles nous avons cru devoir appeler l'attention, certaines circonstances de l'exécution nous ont paru présenter de l'intérêt, et nous allons les faire connaître.

Ainsi que nous l'avons dit, le profil du chemin de fer présente une grande tranchée sur la rive droite, un grand remblai sur la rive gauche. On avait à passer d'une rive à l'autre près de 200,000 mètres de terrassements pendant l'exécution du pont.

Pour y arriver, aussitôt que les piles et les culées furent hors de l'eau, on installa sur le centre de ces maçonneries de grandes palées d'environ 12 mètres de hauteur, s'élevant à 1 mètre au-dessus du niveau de l'extrados, composées de poteaux destinés à être coupés en deux pour former plus tard les piliers d'une halle à marchandises. Il s'agissait de relier entre elles ces grandes palées espacées de 25 mètres. On étudia alors le projet d'un comble de 25 mètres de portée destiné à couvrir plus tard une halle à marchandises, puis on fit exécuter 12 fermes de ce comble et 8 fermes d'un autre comble de largeur moitié moindre. On posa les grands combles sur les palées, d'une culée à l'autre, et les petits combles, d'un bout sur les palées extrêmes, de l'autre sur l'extrémité du remblai venant de la tranchée, et une palée provisoire du côté de la vallée. Les fermes étaient accolées deux à deux sur chaque tête, l'intervalle libre au milieu était assez large pour

deux voies de terrassement. On posa comme poutrelles sur les entrails des pièces destinées à former plus tard les pannes d'une halle à marchandises. Ces poutrelles étaient saillantes de chaque côté des fermes. On plaça des rails sur leurs abouts et on y fit rouler une grande grue embrassant toute la hauteur des combles.

A l'aide de cette installation de 100 mètres de longueur on put exécuter les terrassements, sans s'inquiéter de l'avancement du pont. La grande grue servit à poser les voussoirs des têtes comme dans un pont ordinaire. Quand les terrassements furent achevés, on n'eut qu'à démonter ces charpentes et à reboucher les petits puits que les palées avaient forcé de laisser subsister dans les maçonneries. Toute la charpente était en bon état et propre à couvrir deux bâtiments de 25 mètres et 12^m,50 d'ouverture.

L'installation nécessaire pour passer les remblais d'un bord à l'autre de la vallée, à 14 mètres au-dessus de l'étiage, n'a donc coûté que la pose et la dépose d'une certaine quantité de bois, sans dépréciation sensible. La construction des chemins de fer peut présenter quelquefois des remblais à exécuter dans ces conditions; on ne saurait trouver une solution plus économique.

Le pont de Guignicourt est aujourd'hui une des curiosités des environs de Reims. Nous ne voulons pas dire par là que cet ouvrage soit seulement curieux; nous avons vu, au contraire, qu'au point de vue de l'intérêt général, il a procuré une économie notable relativement à tout autre système; on peut, d'ailleurs, avoir l'occasion d'en établir de semblables plus souvent qu'on ne pourrait le croire au premier abord. Quelles sont, en effet, les conditions qu'il faut trouver réunies? Une traversée de rivière près d'un village qui n'a qu'un bac, un remblai élevé et de la bienveillance dans les rapports d'une Compagnie avec les populations qu'elle est appelée à desservir : tout cela peut se rencontrer assez fréquemment.

NOTE

509

LA RECONSTRUCTION DES ARCHES DES PONTS SUR LA SEINE DU CHEMIN DE FER DE ROUEN.

Par M. Lemoine, ancien ingénieur en chef des chemins de fer de Rouen,
du Havre et de Dieppe.

L'établissement du chemin de fer de Paris à Rouen nécessita la construction de plusieurs ponts sur la Seine.

Ces ponts furent construits avec piles et culées en maçonnerie et avec arches en charpente. Les arcs étaient formés de madriers ou feuilletts en sapin superposés et reliés par des chevilles en chêne ; les madriers avaient été préalablement imbibés d'une solution de sulfate de cuivre. Ce système offrait le double avantage à cette époque (1843) de l'économie et de la rapidité d'exécution ; son adoption eût pour conséquence l'ouverture plus prompte de la ligne de Paris à Rouen.

Au bout de quelques années la décomposition arriva, et ses effets plus ou moins rapides et intenses portèrent principalement sur les feuilletts des arcs.

Ces feuilletts furent remplacés par d'autres madriers. En premier lieu, le remplacement se faisait partiellement, c'est-à-dire que l'on intercalait les madriers dans les arcs à la place de ceux que l'on reconnaissait cariés ; on trouva ensuite préférable, pour obtenir une meilleure liaison des feuilletts, de remplacer à la fois la totalité ou la presque totalité d'un arc, ce qui s'opérerait par moitié successive de la hauteur ou épaisseur de l'arc.

Mais l'affaiblissement notable des arches, au point de vue

surtout de la rigidité, fut la conséquence inévitable de ces renouvellements, quel que fût le soin que l'on apportât à leur exécution. Cet inconvénient, dont la charge croissante du matériel roulant augmentait la gravité, joint à ceux qui résultaient, pour la régularité et la sécurité du service, des travaux même de réparation, détermina la Compagnie du chemin de Rouen à substituer au bois formant les arches de ses grands ponts une matière moins périssable.

L'emploi de la pierre dut être écarté, parce que les piles n'avaient pas été construites dans cette prévision et parce qu'il eût offert d'assez grandes difficultés en exécution, à cause de la nécessité de maintenir la circulation des trains.

Entre la fonte et la tôle le choix ne fut pas longtemps douteux ; la fonte fut préférée et les considérations qui la firent adopter furent les suivantes :

Lorsqu'elle peut être soumise à des efforts de pression, comme dans le cas actuel, la fonte offre une plus grande résistance que le fer laminé ; fit-on même travailler la tôle en arcs à un plus grand coefficient que la fonte l'on n'arriverait pas, en restant dans des limites de sécurité convenables, à balancer la différence de prix des deux métaux, car il ne faut pas perdre de vue, dans cette question, l'entretoisement considérable qu'exigerait la tôle travaillant à une forte pression ; quant à la tôle en poutres elle n'est qu'un expédient qu'il n'est pas utile d'employer lorsque la fonte peut être mise en œuvre sous la forme d'arcs ; l'emploi de la fonte donne alors une garantie de durée bien plus grande sous le rapport de la conservation des formes, du maintien des assemblages et à cause des moindres effets de l'oxydation.

Cette dernière observation s'applique, naturellement aussi, aux arcs en tôle.

Dans le cas actuel, aux raisons qui viennent d'être exposées s'ajoutait, en faveur de l'emploi des arcs, cette considé-

ration que leur forme s'harmonisait mieux avec la construction des piles et en maintenait mieux l'équilibre que ne l'aurait fait une poutre dont le niveau élevé devait être commandé par les exigences de la navigation.

Les nouveaux arcs en fonte des ponts de la ligne de Rouen travaillent à une pression de 3 kilogrammes environ par millimètre carré sous les plus fortes charges roulantes ; les montants des tympans supportent une pression d'environ 2 kilogrammes.

Les épreuves ont été faites au moyen de deux trains composés de trois machines les plus lourdes et de leurs tenders, pesant chacun 150 tonnes environ et franchissant les ponts à la vitesse de 45 à 50 kilomètres.

Les arches ont 30 et 40 mètres d'ouverture, avec des flèches respectives de 4^m50 et de 6 mètres ; les flexions des arcs ont été, sous le poids d'un seul train, de 12 millimètres environ, pour les arches de 40 mètres comme pour celles de 30, et sous le poids de deux trains se rencontrant sur une arche de 20 millimètres ; la différence a été faible entre la flexion statique et la flexion dynamique.

Ces flexions, bien qu'elles ne soient pas considérables, dépassent cependant les résultats obtenus sur d'autres ponts en fonte construits sous des voies de fer ; cela tient à la légèreté des arches de la ligne de Rouen, qui ont été faites à simple tablier, sans charge de ballast, et dont le poids de fonte ne représente qu'un peu plus de 4,000 kilogrammes par mètre courant de double voie, ce qui est notablement inférieur au poids des autres ponts. Une pareille disposition est évidemment plus économique, et l'élasticité de la fonte de bonne qualité permet de l'employer sans danger.

Les déviations latérales n'ont pas dépassé, pendant les épreuves, 4 à 5 millimètres pour les arches de 30 mètres d'ouverture et 8 à 9 millimètres pour les arches de 40 mètres.

Les fers en double **T** formant pièces de pont et supportant les longrines de la voie fléchissent de 3 millimètres environ; ils travaillent à une tension de 6 à 7 kilogrammes.

Le prix des fontes a été de 38 francs les 100 kilogrammes (prix de 1854), comprenant la fourniture, le transport et l'ajustement des pièces; le montage proprement dit, en raison des difficultés et des risques d'exécution, a été fait directement par la Compagnie et est revenu à 12 francs environ par 100 kilogrammes, prix qu'expliquent les circonstances toutes particulières dans lesquelles le travail a été fait et qui comprend la valeur des échafaudages et la main-d'œuvre nécessaire, non-seulement pour le montage du nouveau pont, mais encore pour l'étalement de l'ancien pont en charpente pendant sa reconstruction, puis ensuite pour sa démolition.

Comme l'indiquent les dessins, chaque arche est composée de 4 arcs en fonte dont deux extérieurs placés à l'aplomb des garde-corps et deux intermédiaires occupant la partie centrale des piles, disposition en partie commandée par celle de l'ancien pont en charpente. Les arcs, à leur sommet, et les poutres qui couronnent leurs tympans sont reliés par des fers en double **T** formant pièces de pont et supportant les longrines en chêne sur lesquelles sont fixés les rails; par la position qu'occupent ces pièces de pont le centre de gravité de la voie se trouve abaissé et les arcs sont plus solidement reliés que si les pièces de pont les eussent surmontés; un plancher en madriers de chêne reposant sur les traversines qui relient les longrines et sur un petit cadre en charpente pour les accotements complète le tablier; ce plancher est recouvert d'une légère couche de gravier simplement destinée à en prévenir la combustion.

Les arcs sont formés à un certain nombre de voussoirs, 7 pour les ouvertures de 30 mètres et 9 pour les ouvertures de 40 mètres; ces voussoirs, dont les rebords formant plans de joints sont parfaitement rabotés, sont simplement juxtaposés et boulonnés sans aucune interposition de mastic ni de

feuille de métal ; contre les piles et culées, pour l'attache des premiers voussoirs, sont des portions de voussoirs ou sabots fixés à scellement sur des coussinets en pierre dure et reliés aux voussoirs par des boulons, mais avec l'interposition de cales en fer servant à régler les arcs lors de la pose ; après ce règlement l'intervalle entre les cales est rempli avec du mastic de limaille.

De fortes entretoises en fonte assemblées à queue d'hironde dans des poches fondues avec les voussoirs relient les arcs entre eux à l'extrados ; des entretoises moins fortes les relient également à l'intrados. Sur cette voûte en fonte sont placés les tympans également reliés par des entretoises ; les joints des entretoises avec les arcs et avec les tympans sont boulonnés, calés et mastiqués ; il en est de même des joints existants entre l'extrados des arcs et la semelle des tympans.

Bien que chaque moitié d'un nouveau pont, par la disposition de sa construction, forme un système complètement séparé, ce que rendait nécessaire l'obligation de remplacer les deux voies successivement, le tout est néanmoins réuni étroitement par les entretoises qui relient ensemble les arcs et les tympans intermédiaires, et cette connexion est telle qu'au passage de trains sur une voie, la voie opposée se trouve très-notablement entraînée dans le mouvement de flexion des arcs chargés.

De chaque côté du pont règne un garde-corps en fonte évidée dont la disposition est suffisamment indiquée par les dessins ; les montants en sont fixés avec cales et mastic dans des boîtes fondues avec les poutres de couronnement et les voussoirs de clef.

Comme il a été dit ci-dessus, le montage proprement dit des nouveaux ponts présentait, en raison de la nécessité de maintenir la circulation des trains, certaines difficultés et certains risques qui ont déterminé l'ingénieur de la Compagnie à

le faire opérer par ses propres soins et sous sa surveillance immédiate, les fondeurs n'étant tenus que d'opérer la simple pose et l'ajustage des pièces manœuvrées par les ouvriers de la Compagnie. Ces manœuvres, ainsi que celles de toutes les grosses pièces de charpente employées dans les échafaudages ou provenant de la démolition des anciens ponts, ont été faites au moyen de grues roulantes cheminant sur deux cours de longrines placées à l'extérieur du pont et soutenues par des poteaux avec pièces de décharge reposant eux-mêmes sur les extrémités de poutres transversales accrochées aux anciens arcs, d'abord, puis aux arcs en fonte; sur ces poutres transversales que recouvrait un plancher reposaient les voussoirs jusqu'au moment de la mise en place de la clef de chaque arc.

On comprend que les arcs en fonte une fois clavés, la pose des tympans s'opérait directement sur les arcs et sans charger l'échafaudage.

Pas un pieu n'a été battu en rivière à l'occasion des travaux.

Les deux moitiés de chaque pont ont été remplacées successivement, et non ensemble, afin de maintenir la circulation. L'opération la plus difficile a consisté dans le maintien de l'équilibre de la voie unique reposant sur la moitié de l'ancienne arche en charpente composée de bois ayant perdu une grande partie de leur rigidité et de leur consistance. Ce résultat a été obtenu par l'emploi de moises et de contrevents se rattachant, suivant le degré d'avancement du montage de la demi-arche en fonte, soit aux parties non démolies de la seconde moitié de l'arche en charpente, soit aux arcs et aux tympans en fonte et aussi à la maçonnerie des piles.

Il existe, sur la ligne de Rouen, six ponts traversant la Seine, comprenant ensemble trente arches de 30 mètres d'ouverture et huit arches de 40 mètres, soit une longueur de plus de 1,300 mètres.

NOTE

Sur la pose, la manœuvre et l'entretien des signaux à distance.

La Compagnie de l'Ouest a fait autographier pour ses agents la Note sus-indiquée, de laquelle nous extrayons les passages suivants, que nous croyons utile de reproduire comme complément de ce que nous avons dit dans la troisième édition du *Traité élémentaire*.

Le mouvement est transmis de la manœuvre au signal au moyen d'un fil de fer supporté de 15 mètres en 15 mètres par des poulies reposant sur des piquets en bois plantés dans le sol.

Transmission
de mouvement.

Le diamètre du fil de fer adopté est de 0^m 0044 (n° 20 de la jauge de Paris, 1857), ce qui est suffisant même pour une transmission à très-grande distance. Le fil est, en outre, galvanisé, pour éviter sa détérioration par l'oxydation.

Fil de fer.

Le fil de fer est fourni en bottes d'environ 200 mètres de longueur; cette longueur étant toujours insuffisante, il est nécessaire d'employer plusieurs bottes de fil pour une même transmission, et, par suite, de lier les brins deux à deux au moyen de viroles en fer galvanisé ou en cuivre. (Voir le croquis ci-contre.)

Ligatures.

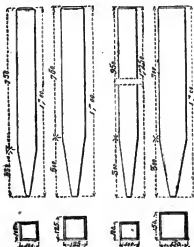


Les attaches du fil aux chaînes de manœuvre et de rappel sont faites de la même façon.

Dans le cas où l'on manque de viroles, la ligature peut être faite en formant un œil avec le fil de fer et en retournant l'extrémité en spires juxtaposées sur le fil principal. (Voir la fig. précédente.)

Piquets et poulies
de support.

Chaque support du fil se compose d'un piquet de 1 mètre de longueur et de 0^m19 d'équarrissage, au sommet duquel est fixée une poulie.



Lorsque la transmission est en ligne droite, chaque piquet reçoit une poulie verticale. Pl. E 9, fig. 1¹⁴.

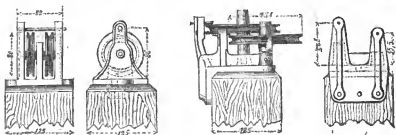
Lorsque la transmission est posée en courbes de 300 mètres de rayon, chaque piquet reçoit une poulie horizontale. Pl. E 9, fig. 1¹³.

Poulies
pour déviation
dans le sens
horizontal.

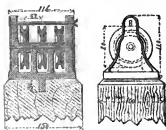
Lorsque le rayon de la courbe est supérieur à 300 mètres, on fait décrire au fil un polygone, à chacun des sommets duquel on place une poulie horizontale; les piquets placés dans les intervalles, sur la partie droite, reçoivent des poulies verticales.

Les règles à suivre pour déterminer le nombre des poulies verticales et horizontales sont indiquées plus loin

Lorsqu'il existe plusieurs signaux dont les fils doivent suivre le même parcours sur une certaine longueur, on réunit autant que possible les fils de ces signaux sur les mêmes supports à poulies doubles et triples.



suivre le même parcours sur une certaine longueur, on réunit autant que possible les fils de ces signaux sur les mêmes



supports, en employant des poulies horizontales et verticales doubles ou triples.

Les déviations du fil dans le sens vertical s'obtiennent en employant, au point d'inflexion, un support à deux poulies verticales superposées, pl. E 9, fig. 1^{re}. L'emploi de ce support est notamment nécessaire pour les premiers piquets après le levier de manœuvre:

Poulies pour déviation dans le sens vertical.

Il résulte des expériences faites sur le fil des transmissions que, dans les renvois de mouvement, il est nécessaire pour que l'élasticité du fil ne soit pas altérée, que le supplément de l'angle formé par les deux brins ne soit pas supérieur à 3°, ce qui correspond à une déviation d'environ 0^m 75 sur 15 mètres de longueur.

Poulies de renvoi ou de traversée

Lorsque, par suite, on doit faire des renvois de fil dans

le sens horizontal, sous un angle plus petit que 177° , on emploie une poulie horizontale de $0^m 350$ de diamètre, au droit de laquelle le fil est interrompu et remplacé par une chaîne de longueur suffisante; le système est monté sur une charpente spéciale et recouvert d'une cloche en fonte.

Signal.

Le signal du type adopté, fig. 3, 3¹, 3², 3³, pl. E 9, est à poteau en bois et à lanterne fixe.

L'appareil se compose d'un poteau en bois reposant sur une croix, et soutenu par quatre jambes de force.

Mât de signal.

Un mât en fer, supporté par une crapaudine et maintenu par deux guides fixés au poteau, se termine en pivot à sa partie inférieure, et, à sa partie supérieure, par une croix, sur laquelle est rivé un disque circulaire en tôle.

Le mât repose dans la crapaudine sur un grain en acier, et des parties tournées sont ménagées au droit des guides pour que le mât puisse tourner librement.

Une console en fer plat, fixée au poteau, supporte deux tringles verticales, en fer rond, réunies à leur partie supérieure par une entretoise en fer, qui sert en même temps à maintenir le mât.

Ces tringles servent de guide à un porte-lanterne en fonte, que l'on peut relever ou abaisser au moyen d'une chaîne s'enroulant sur une poulie, qui supporte l'une des tringles conductrices, dont l'extrémité supérieure est terminée en chape pour cet objet.

Deux ressorts à boudin sont disposés à la partie inférieure des tringles pour amortir le choc lorsqu'on descend la lanterne, et une chaîne, terminée par un crochet, placée également à la partie inférieure des tringles, sert à accrocher la chaîne pour maintenir la lanterne élevée.

Enfin, le mouvement est communiqué au moyen d'une manivelle, calée à la partie inférieure du mât, et recevant une petite chape à laquelle est agrafé le fil de la transmission.

La face du disque commandant l'arrêt est peinte en rouge et bordée d'un liseré blanc de $0^m 05$ largeur; cette face est

ournée vers les champs, du côté opposé à la voie : lorsque le signal est à la voie libre, elle est placée perpendiculairement à la voie ; du côté de l'arrivée des trains, lorsque le signal est à la voie fermée.

La face opposée est peinte en blanc et bordée d'un liséré noir de 0^m 05 de largeur.

Lorsque la lanterne est allumée et que le signal est à la voie fermée, pl. E 9, fig. 3¹, le faisceau de lumière que la lanterne dirige vers les trains arrivants est coloré en rouge par le verre de l'ouverture pratiquée dans le disque.

Lorsque le signal est à la voie libre, pl. E 9, fig. 3, le faisceau de lumière projeté en avant par la lanterne reste blanc.

La lanterne se compose d'une enveloppe en tôle étamée, renfermant un réflecteur parabolique, en cuivre, plaqué d'argent. L'enveloppe est fermée, du côté de l'ouverture du réflecteur, par une porte à charnières percée d'une ouverture circulaire portant une glace. La glace est maintenue à l'intérieur de la porte par des coulisses. Le fond opposé de l'enveloppe est fermé par une plaque en tôle, et supporte, par deux crochets, un réservoir à huile qui porte une lampe.

Lanterne.

Le bec de la lampe traverse le fond du réflecteur, et se place de manière que le centre de la flamme occupe le foyer de celui-ci.

Un trou percé dans le réflecteur, à la hauteur du foyer, et un petit réflecteur conique correspondant, qui traverse le réservoir à huile, envoient en arrière de la lanterne un faisceau de lumière destiné à renseigner les agents de la gare chargés de la manœuvre du disque sur l'éclairage et la position du signal.

Lorsque la voie est en ligne droite, le feu d'arrière peut être aperçu directement de la gare.

Miroir.

Lorsque la voie est en courbe, on fait usage d'un miroir réflecteur, qui renvoie vers la gare le faisceau de lumière.

Ce miroir, dont on peut varier l'inclinaison, se place dans les coulisses fixées derrière la lanterne. Il est employé pour les angles de 10° à 90°.

De 0 à 10° on conserve le feu direct sans miroir réflecteur. Le miroir, en se retournant, peut servir pour les déviations à droite ou à gauche.

Écrans.

Le faisceau lumineux reste blanc lorsque la voie est fermée; mais, lorsque la voie est ouverte, il est coloré en violet par le verre d'un écran fixé au disque.

On emploie, suivant le sens et la grandeur de l'angle de déviation, l'un des quatre écrans représentés planche 9, série E, fig. 1^{re}, 1^{re}, 1^{re}, 1^{re}.

L'écran n° 1 est employé pour la lumière directe et les déviations à droite ou à gauche inférieures à 30°.

L'écran n° 2 est employé pour les déviations de 30° à 90°, à droite en regardant la gare.

L'écran n° 3 est employé pour les déviations de 30° à 70°, à gauche.

L'écran n° 4 est employé pour les déviations de 70° à 90°, à gauche.

Tous ces écrans sont formés de coulisses en tôle, fixées au disque, et dans lesquelles on place un verre violet, garni préalablement de deux cordons en caoutchouc.

Les signaux seront livrés sans écran. On déterminera sur place, après la pose, le numéro de l'écran qu'il conviendra d'employer.

Système de rappel.

Le système de rappel se compose d'un levier coudé muni d'un contre-poids à position variable et monté sur un axe que supporte un palier-buttoir.

La course du levier est limitée, à la voie ouverte, par le palier, sur lequel vient s'appuyer le petit bras du levier, et, à la voie fermée, par un tasseau sur lequel repose le contre-poids par l'intermédiaire d'une rondelle en caoutchouc.

Dans un grand nombre de signaux à poteau en bois, en service, le levier de rappel, de la même forme que ci-dessus et fonctionnant de la même manière, est fixé sur le poteau même du signal; la course est alors limitée, à la voie ouverte, par un taquet d'arrêt, également fixé sur le poteau et, à la voie fermée, par un piquet. — Afin d'éviter que le contre-poids ne retombe sur le fil, le levier est coudé sur plat.

Cette disposition du levier de rappel, qui est aujourd'hui remplacée par la précédente, présente l'inconvénient, lorsque le signal est manœuvré brusquement et que le levier de rappel vient frapper sur le taquet, de produire un choc assez violent pour amener la rupture des verres de la lanterne et des écrans.

La disposition de l'ensemble du système est donnée planche 9, série E, figures 3 et 3^a.— On voit que, lorsque la voie est fermée, le levier de manœuvre repose sur son arrêt et le levier de rappel sur son tasseau.

Fonctionnement
de l'appareil.
Voie fermée.

Il est à remarquer que, s'il se produit une rupture du fil dans cette position, le signal reste à la voie fermée.

A la voie ouverte, le levier de rappel est appliqué contre son arrêt par l'action du levier de manœuvre qui maintient le fil tendu et compense les allongements ou les raccourcissements du fil en variant de position. S'il se produit, par suite, une rupture de fil dans cette position, le levier de rappel tombe, entraîne le signal dans son mouvement et le met à l'arrêt. (Voir le croquis ci-contre.)

Voie ouverte

Un certain nombre de signaux du type qui vient d'être décrit sont manœuvrés au moyen de manœuvres à roue; le fonctionnement, dans ce cas, est exactement le même que celui obtenu avec la manœuvre à secteur.

Il est quelquefois nécessaire de manœuvrer un signal de deux ou trois points différents; ce cas se présente, par exemple, lorsqu'un signal doit protéger, en outre de la gare, un ou deux passages à niveau compris entre la gare et le signal.

Signaux à deux
ou à trois
transmissions.

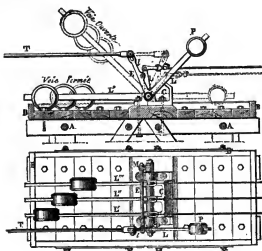
Les conditions à remplir sont alors les suivantes :

La gare, d'une part, et chacun des gardes-barrières des passages à niveau, d'une autre part, doivent pouvoir mettre le signal à l'arrêt d'une manière indépendante les uns des autres; mais le signal ne doit pouvoir repasser à la voie libre que lorsque toutes les manœuvres commandant le signal ont été elles-mêmes remises à la voie libre.

Les manœuvres employées pour les signaux à deux ou

trois transmissions, et le signal même, peuvent être d'un type quelconque.

Le système qui permet de remplir les conditions détaillées ci dessus consiste uniquement dans la disposition du système de rappel.



Le signal à trois transmissions se compose d'un châssis en charpente fixé dans le sol et recouvert d'une planche en madriers épais, encadré dans une bordure en bois.

Un support en fonte est traversé par un arbre en fer, à l'extrémité duquel est calé un levier coudé, dont le grand bras est muni d'un contre-poids à position variable. — Le petit bras se termine par une mortaise dans laquelle est passé le boulon d'articulation de la tringle rigide qui commande le signal.

A l'autre extrémité de l'arbre est calée une manivelle, dont l'angle de calage est le même que celui du petit bras du levier; une entretoise en fer réunit la manivelle et le petit bras.

Trois leviers coudés mobiles sur l'arbre sont montés de façon que leurs contre-poids agissent en sens contraire du

contre-poids du levier de rappel et que l'entretoise se trouve comprise entre les deux bras de leviers.

A la voie ouverte, le petit bras de chaque levier est tenu appliqué par l'action du contre-poids de la manœuvre contre la partie du support faisant arrêt, et se termine par un anneau auquel est agrafé le fil d'une transmission correspondant à une manœuvre.

Dans la voie ouverte, les trois leviers sont maintenus relevés par l'action de la manœuvre; le levier est abaissé et l'entretoise s'appuie sur les petits bras des leviers.

Supposons maintenant que l'on veuille fermer la voie avec la manœuvre correspondant au 2^e levier; ce mouvement s'opère, ainsi que nous l'avons vu, en lâchant du fil; ce levier étant muni d'un contre-poids plus fort que le contre-poids du levier de rappel, ce dernier est relevé par le petit bras du deuxième levier qui pousse l'entretoise. Le levier passe ainsi à la position horizontale et la voie est fermée sans que le premier et le troisième levier aient changé de position.

**Fonctionnement
de l'appareil
à deux ou à trois
transmissions.**

Lorsqu'on voudra fermer la voie avec l'une des manœuvres correspondant au premier et au troisième levier, la course du levier se fera à blanc, la voie étant déjà fermée.

La simple inspection de la figure montre que, pour repasser à la voie ouverte, il faudra que les premier, deuxième et troisième leviers aient été relevés, puisqu'il suffit qu'un seul soit abaissé pour maintenir la voie fermée.

Il est évident que, dans le cas où le signal serait à deux transmissions au lieu de trois, le fonctionnement serait toujours le même.

Les transmissions des signaux à deux ou trois manœuvres se composent, comme les transmissions simples, de fils de fer de 0^m 0044 de diamètre, supportés par des poulies verticales ou horizontales, suivant la direction que suit la transmission.

**Transmissions
à deux ou trois fils**

Suivant que les transmissions sont doubles ou triples, les poulies verticales et horizontales sont montées deux à deux ou trois à trois sur le même support en fonte.

Les renvois brusques de mouvement, pour les transmis-

sions à deux ou trois fils, se font au moyen de poulies horizontales de 0^m 35 de diamètre.

**Sonneries
électriques.**

Il peut être nécessaire, dans certains cas, de renseigner les agents chargés de la manœuvre d'un signal sur la position qu'occupe le disque.

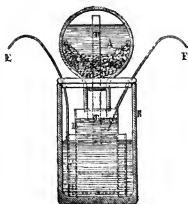
On emploie, dans ce cas, des sonneries électriques placées dans le voisinage des leviers de manœuvre, qui indiquent le fonctionnement du signal en produisant, pendant que le disque est à l'arrêt, un tintement continu.

On obtient ce résultat à l'aide d'un courant électrique qui se trouve établi ou interrompu par un commutateur spécial, suivant que le disque est fermé ou qu'il est ouvert. La sonnerie est disposée de manière que le tintement se produise quand le courant passe, c'est-à-dire quand le disque est fermé, et à ce que le tintement s'arrête quand le courant est interrompu, c'est-à-dire quand le disque est ouvert.

Nous allons décrire successivement la pile qui produit le courant, la sonnerie, le circuit et le fonctionnement de l'appareil.

**Pile.
Élément de pile
à ballon.**

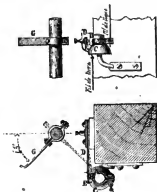
La pile se compose de dix éléments de Daniell, dont chacun est formé, comme l'indique le croquis ci-contre, d'un ballon en verre A, contenant des cristaux de sulfate de



cuivre et de l'eau ; d'un vase en verre B, contenant de l'eau jusqu'au milieu de sa hauteur ; d'un cylindre creux C, en zinc, plongeant dans cette eau ; d'un vase D, en terre poreuse, recevant la dissolution de sulfate de cuivre, par l'intermédiaire d'un tube T, en gutta percha, et, enfin, d'une lame de cuivre F, plongeant dans cette dissolution.

On relie cette lame de cuivre à la lame de zinc de l'élément précédent.

Le commutateur représenté ci-contre, est composé d'un collier en fer A, sur lequel est fixée une plaquette B, en



cuiivre argenté ; ce collier, qui embrasse une cloche en porcelaine C, fixée sur le poteau du signal, est relié au fil de ligne.

Une lame flexible d'acier D, est également fixée sur le poteau du signal et se termine par un bouton argenté E ; cette lame est mise en communication avec la terre au moyen d'un fil de fer.

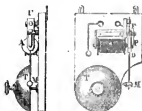
Sur le mât du signal est fixée une tige qui, lorsque le disque est à l'arrêt, vient presser sur la lame D, met le bouton en contact avec la plaquette et ferme ainsi le circuit.

La sonnerie se compose d'un électro-aimant (1) dans

Sonnerie.

(1) L'électro-aimant se compose d'un barreau de fer doux traversant une bobine en cuivre sur laquelle un fil de cuivre recouvert de soie s'enroule un très-grand nombre de fois. Quand un courant électrique parcourt ce fil, il donne au barreau de fer doux les propriétés d'un aimant ; mais cet effet cesse en même temps que les passages du courant.

lequel est une palette en fer qui est attirée, quand le courant



passé dans le fil de l'électro-aimant, et qui est ramenée en arrière, par un ressort de rappel, quand le courant cesse de passer.

A cette palette est fixé un petit marteau qui frappe un coup sur le timbre à chaque oscillation de la palette. Pour obtenir une sonnerie continue, par des oscillations successives de la palette, il suffit de produire une série de passages et d'interruptions du courant.

Voici comment les choses sont disposées à cet effet :

Circuit.

Des fils relient les différentes parties de l'appareil, présentant le circuit suivant au courant électrique ; le sol est relié au pôle zinc de la pile, dont le côté opposé est relié à l'une des extrémités du fil de l'électro-aimant de la sonnerie. L'extrémité opposée de ce fil est reliée à la palette mobile. Suivant que celle-ci touche ou ne touche pas son arrêt D le circuit se trouve continué ou interrompu en ce point. De l'arrêt D, le circuit est continué par le fil de ligne jusqu'au sol, en traversant le commutateur : ce dernier établit ou interrompt le circuit, suivant que le disque est fermé ou qu'il est ouvert, ainsi que nous l'avons dit plus haut.

Lors donc que le disque est ouvert, le commutateur interrompt le circuit, l'électro-aimant A n'a pas d'action, et la palette P, sous l'action unique de son ressort F, presse sur le ressort d'arrêt D.

Fonctionnement
de la sonnerie.

Les choses restent en cet état jusqu'à ce que, le disque étant fermé, le commutateur rétablisse le courant. A ce premier moment, la palette, appuyant sur son arrêt D, le cou-

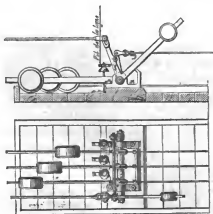
rant passe et l'électro-aimant attire la palette, qui vient le toucher et sonne en même temps sur le timbre. Mais, la palette ayant abandonné son arrêt D, a interrompu le courant; par suite, l'action de l'électro-aimant cesse aussitôt, et la palette, sous l'action de son ressort F, revient se poser sur son arrêt D; le courant est alors rétabli, tout recommence, et la palette, oscillant continuellement, frappe un coup sur le timbre à chaque passage du courant.

Les appareils à deux ou trois transmissions exigent une disposition particulière pour les sonneries électriques; car, si on plaçait le commutateur sur le mât, comme dans la sonnerie ordinaire, on ne pourrait pas indiquer d'une manière distincte la position du disque pour chacune des manœuvres.

Sonneries
des appareils
à deux ou trois
transmissions.

Or, il est nécessaire que l'agent chargé de la manœuvre que l'on veut protéger sache, non-seulement si le disque est fait, mais encore et surtout si le grand levier correspondant à sa manœuvre a accompli son mouvement, de manière à maintenir par lui-même le disque fermé.

Par suite, lorsqu'il sera nécessaire d'établir des sonneries pour des appareils à double ou à triple transmission, on disposera, sur le grand levier correspondant à la manœuvre à protéger, un commutateur spécial, dans les conditions indi-



quées, et on fera communiquer ce levier, par un circuit distinct, avec une sonnerie ordinaire placée auprès du levier de manœuvre correspondant.

EMPLACEMENT ET POSE DE L'APPAREIL.

Distance à laquelle
on doit placer
les signaux.

La distance d'un signal au point que l'on veut protéger doit être fixée en tenant compte des pentes, rampes, courbes, etc., que peut présenter, aux approches de la station, la voie défendue par ce signal.

Les signaux doivent, autant que possible, être en vue de la gare, et ils doivent pouvoir être aperçus par le mécanicien d'aussi loin que possible.

Il est, par suite, impossible de fixer d'une manière générale la distance à laquelle on doit placer les signaux des points à protéger; cette question devra, dans chaque cas particulier, être l'objet d'une étude spéciale. Comme point de départ, on peut admettre que, sauf les cas exceptionnels qui pourront se présenter, cette distance doit être, au minimum, égale aux longueurs indiquées ci-après, en ayant égard à l'inclinaison de la voie :

Rampe de 0=004 et au-dessus.....	500 mètres
Palier et rampe ou pente inférieure à 0=004.	700 —
Pente de 0=004 à 0=008.....	1,000 —
Pente au-dessus de 0=008.....	1,200 à 1,500 —

Lorsque l'on atteint des distances au-dessus de 1,000 mètres, il y a lieu d'examiner s'il ne convient pas plutôt d'établir un signal avancé destiné à répéter un premier signal plus rapproché du point à protéger.

Signaux à droite.
Signaux à gauche.

Les *signaux* sont placés latéralement aux voies et occupent le côté gauche de la voie défendue, par rapport aux trains arrivants; dans certains cas exceptionnels où il se présente des obstacles particuliers qui ne permettent pas de faire occuper au signal cette position, on le place du côté droit de

la voie. Dans tous les cas, le mât de signal doit être placé de manière que la face blanche du disque soit placée en tête de la voie, quand il est tourné à la voie libre.

De là, la nécessité d'avoir deux types de signaux distincts, suivant la position qu'ils doivent occuper, par rapport à la voie défendue.

Les signaux à gauche et les signaux à droite diffèrent entre eux par le sens du calage de la manivelle, placée au bas du mât, et par le montage du mât, par rapport au poteau en bois ; il importe, par suite, dans les demandes de signaux, de bien spécifier s'il s'agit d'appareils à droite ou à gauche.

L'axe du mât doit être placé à 1^m 60 au moins de l'axe du rail le plus rapproché.

Distance minimum du signal au rail. Emplacement du levier de rappel.

Le levier de rappel est placé en arrière du signal à 1^m 50 de l'axe du poteau, et de façon à se trouver exactement dans la direction du fil.

Cette condition est remplie en disposant le levier de façon que le plan de son mouvement soit à 0^m 12 en dehors de l'axe du poteau du signal.

La transmission suit, autant que possible, l'accotement de la voie, à 1 mètre environ du rail ; sur les quais de voyageurs, elle doit être placée le long des palissades ou contre les murs de quai qui bordent la voie.

Emplacement de la transmission.

Ainsi partout, dans les gares, les disques sont placés à une certaine distance de la station, le long du rail extérieur, et les leviers de manœuvre sur le trottoir des voyageurs, auprès du bâtiment, le long des palissades qui bordent les quais à l'extérieur du chemin de fer.

On pourra quelquefois, lorsque la gare sera en courbe, placer le levier à l'autre extrémité du quai et faire passer le fil derrière le bâtiment et le quai.

Lorsqu'à moins de 15 mètres de l'extrémité du quai, du côté du disque, il y a un passage à niveau ou une traversée à angle droit, si le fil avait à subir une inflexion trop brusque pour passer sous la voie transversale ou sous le passage, on

établirait alors le levier au delà du passage à niveau ou de la traversée.

On doit, autant que possible, éviter de faire traverser les voies par le fil ; lorsqu'on ne peut s'en dispenser, la traversée doit se faire perpendiculairement aux voies, et non en biais.

Dans ce dernier cas, la caisse en bois contenant le fil, dont il sera parlé ci-après, ne peut, en effet, se placer que sous les traverses ; la pose en est, par suite, dispendieuse, l'entretien difficile et les tassements de la voie peuvent, en outre, amener la déformation de la caisse. Quand, au contraire, la traverse est perpendiculaire aux voies, la caisse est toujours plus courte que dans le cas précédent, et elle peut facilement se placer entre deux traverses et être posée presque immédiatement au-dessous du rail.

Si ces voies ne sont que des voies de garage, on pourra souvent faire passer le fil à l'extrémité de ces voies, au lieu de le mettre entre elles et la voie principale. On ne mettra alors la poulie de renvoi qu'à l'extérieur de la voie de garage, ou bien on supprimera même la poulie de renvoi en faisant décrire au fil une double courbe de 300 mètres de rayon, au minimum, sur de petites poulies horizontales.

Lorsqu'au lieu d'une voie de garage il y a une gare de marchandises, la transmission peut être gênante de ce côté, et il peut y avoir intérêt à la reporter, avec le levier de manœuvre, du côté opposé, en traversant les voies principales à l'aide de deux poulies de renvoi.

Emplacement
de la manœuvre.

La manœuvre doit être placée sur le quai de la voie qui défend son signal, à moins que des obstacles exceptionnels n'obligent à la placer sur le quai opposé. Elle doit, dans tous les cas, se trouver le plus près possible de l'axe de la station ; toutefois, lorsqu'il y a un passage dans l'intérieur ou contre la station, ou une traversée rectangulaire, il convient de reporter la manœuvre de l'autre côté de ce passage, afin d'éviter de faire faire au fil une inflexion trop brusque dans le sens vertical, pour passer sous la voie transversale ou sous le passage.

Lorsque l'emplacement que doit occuper le signal est arrêté, on place le poteau, après avoir établi, s'il est nécessaire, une couche de béton ou de maçonnerie à une profondeur suffisante.

Si la voie est en alignement droit, on dispose le signal de façon que le plan du disque, à la voie ouverte, soit parallèle à la voie; si, au contraire, la voie est en courbe, on dispose le signal de façon que le plan du disque à la voie ouverte coupe l'axe de la voie défendue à 600 mètres environ du signal; dans le cas, toutefois, où un obstacle empêcherait d'orienter le signal dans cette direction, on devra rapprocher le plan du disque à la voie ouverte de la tangente à la courbe.

Pose du signal.

Pour orienter ainsi le mât de signal, on plantera sur la voie un jalon au point P (voir le croquis ci-contre), d'où l'on veut que la lumière soit aperçue. On déplacera le mât



jusqu'à ce que le plan du disque à la voie ouverte passe par ce jalon. On fera, du reste, une expérience de nuit, lanterne allumée, pour reconnaître si le point jaloné est bien dans le milieu du champ de la lanterne.

Le signal étant définitivement en place, on le fixera en élevant une maçonnerie autour de la charpente.

Pose du levier de rappel.

Lorsque le signal est monté, on place la charpente du

levier de rappel, et on monte le levier ; on règle la longueur de la chaîne reliant le levier au signal de façon que le levier porte sur son arrêt un peu avant que le disque soit à la voie ouverte ; on règle ensuite la hauteur de la charpente, de façon que le disque soit à la voie fermée lorsque le contre-poids vient reposer sur la rondelle en caoutchouc destinée à amortir le choc. Il est très-important que la pose du levier de rappel soit faite avec soin, la position du disque à la voie ouverte et à la voie fermée dépendant des positions extrêmes de ce levier.

**Pose de
la transmission.**

Lorsque le signal et le levier de rappel sont posés et que l'emplacement de la transmission est arrêté, on détermine la position que doivent occuper les piquets.

Le plus grand soin doit être apporté dans la pose de la transmission, la moindre déviation pouvant amener des frottements considérables et augmenter ainsi la somme des résistances au mouvement.

L'emplacement de la transmission doit être jalonné, et les piquets, qui doivent être espacés de 15 mètres en 15 mètres, doivent être enfoncés bien verticalement, ou bien on les établira dans des trous creusés à cet effet, si l'on est dans le rocher ou sur un pont en maçonnerie ; ils sont ensuite recepés à 0^m 05 de hauteur au-dessus du niveau du rail, lorsqu'ils sont placés sur l'accotement de la voie ; lorsqu'ils sont placés sur la banquette, ils sont recepés à 0^m 50 de hauteur environ au-dessus du sol, afin d'éviter que les herbes ne viennent gêner le mouvement du fil.

Sur les murettes, sur les quais, sur les viaducs et dans les tunnels, on pourra, lorsque ce sera nécessaire, supporter les poulies par des piquets plantés horizontalement, et scellés dans la maçonnerie ; on suivra d'ailleurs l'inclinaison générale du chemin de fer, sauf les cas de déviations dans le sens vertical qui nécessiteront l'emploi des poulies spéciales dont il sera parlé plus loin.

Les piquets auront en général 1^m 00 de longueur et 0^m 10 d'équarrissage. Toutefois, la longueur devra être augmentée, suivant les cas, lorsque le sol ne présentera pas une résistance suffisante, ou lorsque la saillie de la tête du piquet

au-dessus du sol, par suite des dispositions du terrain, l'exigera, de manière que chaque piquet soit fixé bien solidement dans le sol.

Lorsqu'il y a lieu de faire passer plusieurs fils sur le même piquet au moyen de poulies doubles ou triples, les piquets doivent avoir 0^m 125 d'équarrissage lorsqu'ils doivent recevoir des poulies doubles, et 0^m 150 lorsqu'ils doivent recevoir des poulies triples, que ces poulies soient verticales ou qu'elles soient horizontales, ainsi qu'il est indiqué plus loin par les transmissions en courbe.

On place ensuite les poulies sur les piquets sans les fixer définitivement, et en ayant soin de sortir les goupilles qui empêcheraient l'introduction du fil.

On étend le fil au pied des piquets sur toute la longueur de la transmission, et on fait les attaches nécessaires.

On fixe alors l'extrémité du fil, près du signal, au pied d'un piquet provisoire solidement planté ou à tout autre point ayant une fixité suffisante, et on attache l'autre extrémité à la chaîne de la manœuvre en plaçant le levier verticalement.

On tire sur le fil en agissant sans secousse au levier, de manière à produire une traction suffisante pour opérer le redressement du fil.

Aux points où il pourrait se trouver des jarrets brusques, on redressera le fil en le frappant sous la tension, sur un bloc en bois, avec un maillet en bois, pour éviter de l'aplatir.

On placera ensuite le fil sur les poulies; on le fixera à la manivelle du signal et au levier de manœuvre; on remettra les goupilles des poulies en place; on réglera les contre-poids de manœuvre et de rappel, et on fera manœuvrer le signal.

Si la transmission fonctionne bien et ne présente aucun jarret dans les alignements, on fixera les poulies sur leurs piquets.

Afin que les agrafes ne puissent pas nuire au bon fonctionnement du signal en venant s'accrocher aux poulies, ces agrafes devront toujours se trouver à 2 mètres au moins des poulies.

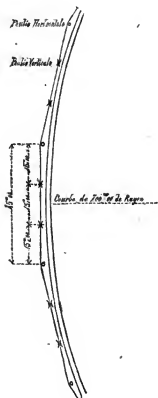
Le premier piquet, à partir du levier de manœuvre, devra, dans la plupart des cas, être muni d'un support à deux poulies verticales superposées, pour racheter la hauteur du secteur de manœuvre.

Le piquet supportant deux poulies verticales superposées devra, en raison de la forme du support de ces poulies, avoir $0^m\ 25^c$ de longueur de plus que les piquets ordinaires.

Emploi de poulies
horizontales
dans les courbes.

Dans tous les cas où il sera employé des supports à deux poulies verticales superposées, on devra éviter de dévier le fil de plus de $0^m\ 75^c$ sur 15 mètres de longueur, ce qui correspond, ainsi qu'il a été dit plus haut, au plus petit angle (177°) que l'on puisse faire faire aux deux brins sans altérer l'élasticité du fil.

Lorsque la voie que suit la transmission est en courbe, il



faut, autant que possible, faire décrire à la transmission un polygone, à chacun des sommets duquel on place une poulie horizontale, comme l'indique le croquis ci-contre. Le fil étant en ligne droite, suivant les côtés du polygone ainsi formé, on le supporte de la manière ordinaire au moyen de poulies verticales.

La longueur maximum de chaque côté du polygone, ou, ce qui revient au même, la distance entre deux poulies horizontales, consécutives, est donnée suivant le rayon de la courbe par le tableau suivant.

RAYON DE LA COURBE.	LONGUEUR EN PARTIE DROITE comprise entre deux poulies horizontales consécutives.	NOMBRE de POULIES VERTICALES comprises entre deux poulies horizontales consécutives.	OBSERVATIONS.
300 ^m	15 ^m	»	
400	30	1	
500			
600			
700	45	2	
800			
900			
1,000	60	3	
1,100			
1,200			
1,300	75	4	
1,400			
1,500			
1,600	90	5	
1,700			
1,800			
1,900	105	6	
2,000			
2,500	135	8	
3,000	165	10	

Les grandes poulies employées dans les cas de déviations brusques dans le sens horizontal, seront montées avec leurs charpentes de façon que l'axe de la poulie soit bien vertical.

Emploi des poulies
de renvoi.

La transmission, à l'approche des grandes poulies, devra se trouver posée à une hauteur convenable pour éviter que la chaîne ne frotte contre les bords ou ne tende à produire des soulèvements de la poulie.

La poulie sera placée vers le milieu de la longueur de la chaîne, qui devra avoir au moins 2 mètres de longueur et devra passer librement dans l'ouverture ménagée à cet effet dans la cloche de recouvrement.

Cette ouverture, qui est disposée pour un angle de 90 centimètres, devra être agrandie à la demande, lorsque l'angle sera plus grand ou plus petit.

**Pose du levier
de manœuvre.**

Le plan supérieur de la charpente recevant le levier de manœuvre doit être parfaitement horizontal et se trouver à 0^m 01^c ou 0^m 02^c au-dessus du niveau du sol, et le plan du mouvement du levier doit se trouver dans la direction de la transmission au départ.

La position du levier doit être réglée de façon que, lorsque le disque est à la voie fermée et le fil de la transmission suffisamment tendu, le patin terminant le secteur s'appuie sur la charpente.

**Position
des contre-poids
de rappel
et de
manœuvre.**

Le règlement du contre-poids de rappel et du contre-poids de manœuvre se fera d'une manière très-simple en suivant les indications du tableau suivant.

La position des contre-poids donnée par ce tableau a été établie en supposant la transmission posée en courbe de 300 mètres de rayon ; il sera possible, par suite, dans le cas où le rayon sera supérieur à 300 mètres, et à plus forte raison quand la transmission sera posée en ligne droite, de diminuer la distance des contre-poids aux centres d'articulation.

LONGUEUR DE LA TRANSMISSION.	LEVIER DE RAPPEL.		LEVIER DE MANŒUVRE.	
	POIDS du contre- poids.	DISTANCE du centre du contre-poids à l'axe.	POIDS du contre- poids.	DISTANCE du centre du contre-poids à l'axe.
Jusqu'à 500m. ..	20 kil.	0m 35	30 kil.	0m 74
De 500 à 700	20	0 43	30	0 89
De 700 à 1,000	20	0 52	30	1 08
De 1,000 à 1,200	20	0 59	40	0 92
De 1,200 à 1,500	20	0 69	40	1 07

Lorsque la transmission sera posée sur un terrain incliné, il sera nécessaire de *rapprocher* ou d'*éloigner* le contre-poids de rappel suivant que l'inclinaison ira de la manœuvre au mât ou du mât à la manœuvre.

Le contre-poids de manœuvre devra, au contraire, être *éloigné* ou *rapproché* suivant que l'inclinaison sera dans le premier ou dans le second cas.

Le tableau ci-dessus donne les indications nécessaires pour rectifier la position des contre-poids, à partir d'une inclinaison de 0m 10e par mètre ; au-dessous, ces rectifications peuvent être négligées.

LONGUEUR DE LA TRANSMISSION.	CHANGEMENT DE POSITION À FAIRE SUBIR au contre-poids de rappel pour une inclinaison de :			CHANGEMENT DE POSITION À FAIRE SUBIR au contre-poids de manœuvre pour une inclinaison de :		
	10 millièmes	15 millièmes	20 millièmes	10 millièmes	15 millièmes	20 millièmes
Jusqu'à 500m. ..	0m 0085	0m 013	0m 017	0m 005	0m 007	0m 009
De 500 à 700 ..	0 0130	0 019	0 025	0 007	0 011	0 014
De 700 à 1,000 ..	0 0170	0 025	0 034	0 009	0 014	0 019
De 1,000 à 1,200 ..	0 021	0 032	0 042	0 012	0 018	0 023
De 1,200 à 1,500 ..	0 025	0 038	0 050	0 014	0 021	0 028

**Transmissions
souterraines.**

Toutes les fois que la transmission devra franchir un passage à niveau pour voitures, on ménagera, pour le passage du fil, un caniveau en pierres sèches, en ayant soin de donner au caniveau une pente suffisante pour assurer l'écoulement des eaux.

Si le caniveau a une longueur supérieure à 15 mètres, on y placera des piquets et des poulies dans les conditions ordinaires.

Dans le cas où la transmission devra traverser les voies des passages à niveau pour piétons, etc., on se servira d'une caisse en bois.

Lorsque la longueur de la traversée de voies sera inférieure à 15 mètres, on pourra se dispenser de supporter le fil dans la caisse et on emploiera, par suite, une caisse ne présentant aucune ouverture à l'extérieur.

On posera alors la caisse en la supportant, tous les deux mètres environ, par des piquets, et on la recouvrira, après la pose, de façon à retenir le niveau du ballast.

Dans le cas où la longueur de la traversée excédera 15 mètres, on placera dans la caisse le nombre de poulies nécessaires pour supporter le fil, et on disposera au droit de chacune de ces poulies un regard à couvercle pour faciliter l'entretien.

La caisse sera supportée, comme dans le premier cas, par des piquets espacés de deux mètres environ et disposés de façon que chaque poulie placée dans la caisse se trouve immédiatement au-dessus d'un piquet. On rétablira le niveau du ballast lorsque la caisse sera en place.

Les caisses devront être posées avec une inclinaison suffisante pour permettre l'écoulement de l'eau qui pourrait s'y introduire. Elles recevront intérieurement et extérieurement, avant la pose, une couche de vernis métallique.

Les indications données pour la pose des transmissions à un fil sont également applicables aux transmissions à deux ou trois fils qui devront être posées avec le même soin.

La face du disque commandant l'arrêt sera peinte en rouge

**Pose
des
transmissions
à deux et trois
fis.**

**Peinture
des appareils.**

avec un filet blanc de 0^m 05^c de largeur autour du bord extérieur ; la face opposée sera peinte en blanc avec un filet noir de 0^m 05^c de largeur, et portera en noir le numéro du signal.

Le châssis-écran, placé derrière la lanterne, sera peint en blanc ; les guides du mât, le mât lui-même, le porte-lanterne et en général toutes les ferrures du signal seront peints en noir, sauf toutefois les tringles conductrices de la lanterne qui ne recevront aucune peinture.

Le poteau du signal sera peint en gris.

Les contre-poids et les ferrures du levier de rappel seront peints en noir.

Le palier et les ferrures de la manœuvre seront également peints en noir, sauf la poignée du levier qui ne recevra aucune peinture. Le contre-poids sera peint en bleu cobalt et recevra à la peinture blanche le même numéro que le signal.

Les piquets seront peints en noir.

Les fils et les poulies non galvanisés seront peints en gris ; les fils et les poulies galvanisés ne recevront aucune peinture.

On devra soigneusement éviter, en peignant les appareils, d'appliquer de la peinture sur les parties flottantes.



TABLE

des matières contenues dans ce volume.

	Pages.
<i>Tranchée du Dockemberg</i>	5
Cube total.....	5
Nature des terrains.....	5
Coupe géologique sur l'axe.....	5
Cube à enlever par chacune des extrémités.....	5
Distance moyenne des transports.....	6
Cube mis en dépôt.....	6
Distribution.....	6
Organisation des travaux.....	6
Coupes transversales.....	6
Cube transporté journellement.....	7
Nombre et contenance des wagons employés.....	7
Prix moyen pour fouille et charge.....	7
Prix moyen de transports.....	7
<i>Tranchée de Montaigu</i>	8
Cube total.....	8
Nature des terrains.....	8
Cube à transporter et distance moyenne des transports.....	9
Organisation des travaux.....	9
Wagons employés.....	10
Prix de main-d'œuvre.....	11
<i>Tranchée de Jessains</i>	12
Cube total.....	12
Nature des terrains.....	12
Coupe des puits de sonde sur l'axe.....	12
Cube à enlever par chacune des extrémités.....	14
Distance moyenne des transports.....	14
Cube mis en dépôt.....	14
Organisation des travaux.....	15
Mode d'attaque : 1 ^o à la brouette.....	15
— 2 ^o au wagonnet.....	16
— 3 ^o au wagon.....	18
Coupes transversales.....	20
Nombre de wagons.....	20
Cube transporté quotidiennement.....	21
Prix moyen pour fouille et charge.....	21

	Pages.
Prix moyen pour transports.....	22
Dépense totale.....	22
<i>Tranchée de Charmoille</i>	22
Cube total.....	22
Ceupe des puits de sonde.....	22
Organisation des travaux.....	22
Coupes transversales.....	23
Prix moyen.....	24
Transport moyen.....	24
Dépense totale.....	24
<i>Tranchée de Vendeuvre</i>	25
Cube total de la tranchée.....	25
Nature des terrains.....	25
Coupe géologique sur l'axe.....	26
Cube à enlever par chacune des extrémités et distance moyenne des transports.....	26
Cube mis en dépôt.....	26
Organisation des travaux.....	27
Coupes transversales de la tranchée à différentes époques du travail.....	28
Nombre de wagons employés.....	31
Prix moyen pour fouille et charge.....	31
Prix moyen pour transports.....	32
Dépense totale par mètre cube.....	32
<i>Tranchée de Chalmaison</i>	32
Nature des terrains.....	32
Cube total.....	32
Organisation des travaux.....	32
Coupes de la tranchée.....	33
Moyenne des transports.....	33
Prix moyen.....	33
<i>Tranchée de Danjoutin</i>	34
Cube total.....	34
Nature des terrains.....	34
Coupe géologique.....	34
Cube à enlever par chacune des extrémités.....	34
Distance moyenne des transports.....	34
Cube mis en dépôt.....	34
Organisation des travaux.....	35
Cube transporté quotidiennement.....	36
Wagons employés.....	36
Prix moyen pour fouille et charge.....	36
Prix moyen pour transports.....	36
<i>Tranchée de Fauchonvilliers</i>	37
Cube total.....	37
Nature des terrains.....	37
Cube à enlever par chacune des extrémités et distance moyenne des transports.....	39

	Pages.
Cube mis en dépôt	39
Organisation des travaux	39
Coupes transversales de la tranchée	39
Cubes transportés journellement	41
Wagons employés	42
Prix moyen pour fouille et charge	42
Prix moyen pour transports	42
Dépense totale par mètre cube	42
<i>Tranchée de Maurevert</i>	42
Nature des terrains	42
Organisation des travaux	43
Prix pour fouille, charge et transport	44
<i>Tranchée de Briel</i>	44
Cube de la tranchée	44
Nature des terrains	44
Coupe des puits de sonde	45
Cube à élever par chacune des extrémités	45
Cube mis en dépôt	45
Organisation des travaux	45
Cube transporté quotidiennement	47
Wagons employés	47
Prix moyen pour fouille, charge et transport	47
Dépense totale	47
<i>Tranchée de Créveney</i>	47
Cube total	47
Nature des terrains	47
Cube des puits de sonde	48
Organisation des travaux	48
<i>Tranchée de Hortes</i>	50
Cube total	50
Nature des terrains	50
Cubes à enlever	50
Organisation des travaux	50
Distance moyenne des transports	51
Prix moyen pour transport	52
<i>Tranchée de Jarges</i>	53
Cube total	53
Nature des terrains	53
Organisation des travaux	53
Distance moyenne des transports	54
Nombre de wagons employés	54
Prix moyen de fouille et charge	55
Prix moyen de transports	55
<i>Compagnie des chemins de fer du Nord.</i> Fouritures de traverses de forme ordinaire en chêne non préparé, et en bois de hêtre et de charme, préparé par le procédé du docteur Boucherie. Cahier des charges	60
<i>Note sur le coût des wagons employés par MM. Parent et Schaken.</i> Wagons à bascule, dits wagons belges	65

	Pages.
Wagons à verser debout, système anglais modifié.....	66
Tableau du cube et du poids des matières entrant dans la construction des wagons à bascule.....	67
<i>Note sur les transports de terrassements en wagonnets, bronettes, ou petits camions circulant sur des voies formées de rails à plat ou de plats-bords en bois, par M. Brabant, ingénieur chef d'arrondissement à la Compagnie de l'Est</i>	68
Indications générales.....	68
Description des véhicules.....	68
Description des voies.....	69
Organisation des ateliers.....	70
Frais de transport.....	70
<i>Rapport de M. Daigremont, ingénieur des ponts et chaussées, sur les travaux de terrassement exécutés sous sa direction au chemin de fer de l'Est</i>	73
Description du système de consolidation adopté.....	73
Creusement des tranchées de drainage.....	74
Pose de tuyaux de drainage.....	74
Comblement de la tranchée de drainage.....	75
Des fossés supérieurs.....	75
Précautions à prendre contre l'engorgement des tuyaux.....	76
Établissement de drains transversaux.....	77
Drainage de la plate-forme.....	77
Cas où il existe une couche aquifère sous la plate-forme.....	79
Inclinaison des talus des tranchées.....	79
Exemples et cas particuliers.....	80
Tranchée de Petit-Croix.....	80
Dépenses faites.....	80
Dépenses à faire.....	81
Tranchée n° 2.....	81
Dépenses faites.....	82
Dépenses à faire.....	83
Tranchée du cimetière de Daunemarie (tranchée n° 14).....	83
Remblai n° 15.....	85
Tranchée n° 15, tranchée n° 16.....	86
Dépenses faites.....	87
Dépenses à faire.....	87
Tranchée du Dock-Imberg, n° 1.....	88
<i>Prix de revient des travaux d'assainissement de tranchées, drainées par le procédé Sezilly sur le chemin de fer de Mulhouse. (Extrait d'un mémoire de M. Masson, ingénieur)</i>	92
Prix élémentaire des journées et matériaux employés aux travaux d'assainissement qui s'exécutent en régie dans diverses tranchées de la Haute-Marne.....	92
Prix d'un mètre courant de drainage avec tuiles creuses sur mortier hydraulique.....	93
1° Avec pierre cassée appartenant à la Compagnie.....	93
2° Avec pierre cassée fournie par l'entreprise.....	96

Prix d'un mètre courant de drainage avec tuiles creuses et corroi de glaise.....	97
Prix d'un mètre courant de drainage avec tuyaux de 0.05 et man- chons de 0.09 : 1 ^o avec pierre cassée appartenant à la Compa- gnie.....	97
2 ^o Avec pierre cassée fournie par l'entreprise.....	98
Prix de réparations d'éboulements.....	99
1 ^o Tranchée de Beaulieu.....	100
2 ^o Tranchée de Chiffard.....	101
Mémoire de M. Bruère, chef de section au chemin de fer de l'Est, sur les assainissements et consolidations de talus.....	103
Tranchées. — But.....	103
Causes des éboulements.....	103
Eaux intérieures.....	104
Bancs de suintement.....	104
Recherche des bancs de suintement.....	104
Eaux provenant de la fonte des neiges.....	107
Eaux de filtration à travers les racines.....	107
Mode de production des éboulements.....	107
Moyen à employer pour la consolidation des talus.....	109
Caniveaux.....	109
Revêtements.....	109
Banquettes.....	110
Cuvettes.....	110
Perrés.....	110
Caniveaux à la base des revêtements.....	110
Exécution du travail.....	111
1 ^o Talus argileux non éboulés.....	111
Caniveaux.....	111
Briques.....	111
Mortier.....	112
Cailloux.....	112
Gazon.....	113
Plaques de glaise.....	113
Fouilles.....	113
2 ^o Talus sablonneux non éboulés.....	115
Caniveaux.....	115
Suintement ordinaire.....	115
Suintement général.....	115
Fascines.....	115
Recouvrement en gazon.....	116
Recouvrement en terre végétale.....	116
Revêtement.....	117
En maçonnerie.....	117
En gazon.....	118
A plat.....	118
Par assises.....	118
En terre végétale.....	118

	<u>Pages.</u>
Banquettes.....	121
Largeur.....	121
Pentes.....	122
Longueur.....	122
Gazonnement.....	122
Pavage.....	123
Cuvettes.....	123
Cuvettes en gazon.....	123
Cuvettes en maçonnerie.....	124
Cuvettes à tuiles faîtières.....	124
Revers d'eau.....	124
Fossés de ceinture.....	127
Banquettes pavées.....	128
Cavaliers de dépôt.....	129
Perrés.....	129
Perrés dans le sable mouvant.....	130
Semis et plantation de chiendent.....	132
Observation sur le mode d'exécution de déblai des tranchées argi- leuses.....	132
Consolidation des talus éboulés.....	136
Forme des glacis.....	136
Consolidation avec enlèvement des éboulis.....	138
Consolidation d'un talus quand on n'enlève pas les éboulis.....	139
Entretien.....	143
Dépenses.....	144
Caniveaux : 1 ^o Matériaux.....	144
— 2 ^o Main-d'œuvre.....	145
Revêtements.....	147
Pilonnage.....	147
Banquettes.....	150
Cuvettes.....	150
Semis.....	150
Système d'assainissement et de consolidation des talus par le drainage.....	153
Rigole à chaque suintement.....	158
Rigole unique.....	159
Remblais argileux.....	164
Cause des éboulements.....	164
Moyen de prévenir les éboulements.....	166
Dépenses.....	171
Consolidation d'un éboulement à la tranchée de Briel.....	172
Consolidation des remblais argileux.....	177
Remblais de Villeneuve.....	177
Remblais de Vendœuvre.....	179
De la durée des ponts en charpente.....	185
Notice sur la construction d'un pont sur la Moselle, à Longueville- lex-Metz pour l'établissement du chemin de fer de Metz à Thion- ville, M. Frécot, ingénieur en chef.....	189

Description générale	189
Position géographique du pont	189
Genre de construction, forme et dimensions principales	189
Hauteur moyenne	190
Débouché	190
Profil longitudinal	190
Piles	190
Avant et arrière-bec	191
Culées	191
Avant-corps	192
Pilastres des culées	192
Massifs des fondations	192
Voûtes	192
Arches latérales	193
Ecoulement des eaux	193
Tympan	193
Couronnement	194
Parapets et garde-corps	194
Murs en ailes et escaliers	195
Nature et saillies des parements	195
Ouvrages provisoires pour l'exécution des travaux	196
Cintres	196
Ponts de service	198
Nature des matériaux	199
Bois	199
Pierre de taille	199
Moellons de parement	200
Moellons pour pendants antérieurs des voûtes et remplissages ordinaires	200
Chaux	200
Sable	200
Cailloux pour béton	200
Mortier	201
Béton	201
Pression de matériaux	201
Résumé des quantités d'ouvrages du pont de Longeville-lez-Metz et estimation des dépenses	203
Mode d'exécution et appareils employés	210
Déblais et drainage des fouilles	210
Vannages	210
Fabrication des mortiers	211
Manipulation, transport et immersion du béton	211
Immersion des enrochements au pourtour des vannages	212
Batardeaux et époussement	212
Chantiers de dépôt des approvisionnements	212
Bardage des matériaux employés pour les maçonneries	213
Autorisation, ordre et durée d'exécution des travaux	214
Décision ministérielle autorisant la construction du pont	214

Ordre et durée d'exécution des travaux.....	214
Notes sur les viaducs des vallées de la Goeltzsch et de l'Elster..	217
Historique des deux ponts.....	217
Viaduc de la vallée de l'Elster.....	221
Tableau des expériences faites pour déterminer la résistance à l'écrasement de quelques matériaux de construction destinés aux viaducs de la Goeltzsch et de l'Elster.....	225
Résultat des expériences faites pour déterminer la résistance à l'écrasement des briques fabriquées par procédés mécaniques...	226
Expériences entreprises pour déterminer la résistance du granit de Brambach (dans le Voigtland supérieur) employé à la construction du viaduc de l'Elster.....	217
Expériences entreprises pour déterminer la quantité d'eau qu'absorbent les briques après 24 heures d'immersion dans l'eau. (Briques fabriquées à la main.).....	228
Expériences entreprises pour déterminer la résistance à l'écrasement des briques fabriquées à la main qu'on pensait employer au viaduc de l'Elster.....	220
Pressions exercées sur différentes parties du viaduc de l'Elster, — rapport de sécurité et tassements observés.....	230
Renseignements sur les matériaux employés et sur les prix de revient.....	232
1 ^o Matériaux de construction.....	232
2 ^o Main-d'œuvre pour journées de maçons et d'aides.....	231
Echafaudages.....	236
Machines, outils et engins.....	236
Direction des travaux.....	237
Bâtiments provisoires.....	237
Etablissement de chemins.....	237
Travaux de fondations.....	237
Frais généraux.....	237
Prix de revient du pont de l'Elster.....	237
Viaduc de la vallée de la Goeltzsch.....	239
1 ^o Maçonnerie de granit ou de pierre de taille.....	241
2 ^o Maçonnerie de moellon.....	241
3 ^o Maçonnerie de briques.....	241
Renseignements sur les matériaux employés et sur les prix de revient.....	243
Matériaux de construction.....	243
Main-d'œuvre pour journées de maçons et d'aides.....	247
Echafaudages.....	249
Machines, outils, engins, fers.....	251
Bâtiments provisoires.....	251
Etablissements de chemins.....	251
Fouilles et travaux de fondations.....	251
Frais divers, médicaments, recours aux malades.....	251
Récapitulation.....	251
Devis explicatif de la construction du viaduc de la Suisse à Cham-	

mont (Haute-Marne), par M. Decomble, ingénieur des ponts et chaussées, attaché à la Compagnie du chemin de fer de l'Est, qui a rédigé les projets de ce viaduc sous la direction de M. Zeiller, ingénieur en chef.....	253
---	-----

CHAPITRE PREMIER.

Raison d'être du viaduc.....	253
Tracé du viaduc et plan.....	254
Profil en long.....	255
Emploi à peu près exclusif de la maçonnerie.....	255
Longueur.....	255
Hauteur.....	255
Étages.....	255
Motifs et distribution des piles-culées.....	256
Largeurs.....	257
Arcs-boutants.....	257
Ouverture des arches.....	260
Le viaduc de la Suisse est à peu près un solide d'égale résistance.	261
Épaisseur des voûtes à la clef.....	263
Extradosses des voûtes.....	263
Tympan.....	264
Écoulement des eaux.....	264
Chapes.....	265
Corniche de couronnement.....	265
Plinthes dessinant les étages inférieurs.....	268
Archevoûtes des voûtes.....	268
Coussinets.....	269
Simplicité de l'appareil général.....	269
Sujétions imposées.....	271
Taille des parements.....	271
Garde-corps et ponts.....	271
Explications complémentaires.....	272

CHAPITRE II.

Modes et procédés d'exécution. — Fouilles et fondations.....	278
Terrains traversés par les fouilles et sol des fondations.....	279
Épuisements.....	281
Mode d'exécution des maçonneries de parements.....	284
Jointement.....	285
Mode d'exécution de la maçonnerie de gros libages.....	285
Remplissage des fouilles de fondations.....	286
Mode d'exécution des voûtes.....	286
Raccordement des maçonneries de voûtes avec celles des piles...	286
Mode d'exécution des chapes.....	287
Exécution des voûtes avec des chapes partielles.....	289

	Pages.
Ballastage des tympans.....	289
Pierres derrière les culées.....	289
Nécessité d'un marché à forfait à propos des ponts de service et des engins.....	290
Transport des matériaux à pied-d'œuvre.....	290
Pont de service.....	291
Tours élévatoires.....	296
Sommaire général des moyens d'action rassemblés....	296

CHAPITRE III.

Qualités, lieux d'extraction et préparation des matériaux, dosages et fabrication des mélanges.

Sable pour maçonneries.....	298
Gravier pour béton.....	298
Chaux.....	298
Essai de la chaux non fusée.....	298
Ciment romain.....	299
Dosages des mortiers.....	299
<i>Documents relatifs à la construction du pont suspendu sur le Niagara.....</i>	<i>301</i>
Amarrage.....	301
Maçonnerie.....	304
Chevalets sur les piliers.....	306
Câbles.....	306
Force du pont.....	313
Effets des lourdes chaînes.....	316
Effets de la température.....	318
Effets des grands vents.....	320
Effets produits par le trot des chevaux et des bestiaux et par la marche des hommes.....	323
Note.....	325
Appendices.....	327
— A. Table de quantités.....	327
— B. Pour trouver la tension des câbles.....	329
— C. Pour trouver la longueur des câbles.....	329
— D. Volume de la maçonnerie..	329
Type et maçonnerie des culées.....	331
Arches reliant les culées.....	332
Piliers.....	332
Culées entre les piliers et les ailes.....	334
Maçonnerie des culées et de l'amarrage.....	334
Remarques générales.....	336
Ciment.....	336
Autres stipulations.....	337
Appendice E. Proposition pour 453 tonnes de fils métalliques...	338
<i>Notice sur le viaduc de Nogent-sur-Marne.....</i>	<i>341</i>

§ 1 ^{er} . Description générale.....	341
Viaduc.....	341
Pont.....	343
Pont et viaduc réunis.....	344
§ 2. Des fondations.....	346
§ 3. Travaux accessoires.....	349
Ciutres et échafaudages.....	353
§ 4. Dispositions générales des chantiers et ateliers.....	357
§ 5. Renseignements statistiques et prix de revient.....	363
Tableau des quantités totales et des dépenses.....	364
1 ^{er} tableau. — Viaduc.....	364
2 ^e tableau. — Pont.....	365
3 ^e tableau. — Pont et viaduc ensemble.....	366
Tableau des quantités d'ouvrages et des dépenses par mètre carré de surface remblayée. 1 ^{er} tableau.....	367
2 ^e — Pont.....	368
3 ^e — Pont et viaduc ensemble.....	369
Tableau des cubes des pleins et des vides du viaduc et du pont..	370
1 ^{er} tableau donnant les quantités et les dépenses par mètre carré de surface. — Viaduc.....	371
2 ^e tableau donnant les quantités et les dépenses par mètre carré de surface. — Pont.....	372
3 ^e tableau donnant les quantités et les dépenses par mètre carré de surface. — Pont et viaduc ensemble.....	373
<i>Note sur le profil nouveau donné aux barres des poutres treillisées des ponts en treillis sur l'Eypel et la Grau, par M. Ch. Muntz...</i>	374
<i>Description du pont sur la Nogath à Marienbourg, chemin de fer de l'est de la Prusse, d'après les données de M. Lentré, traduit de l'allemand, par Ch. Muntz.....</i>	378
Emplacement du pont et études de projet.....	378
Description du projet.....	379
<i>Description du pont sur la Vistule à Dirschau, sur le chemin de fer de l'est de la Prusse, extrait de Zeitschrift für Bauwesen, année 1854 et 1855, par M. Muntz...</i>	382
Emplacement du pont et études du projet.....	382
Description.....	383
Fondation des piles.....	383
Construction des piles.....	385
Superstructure, tablier et treillis.....	386
<i>Note sur les ponts à culées perdues et sur le pont, route de Guignicourt, par M. Manton, ingénieur.....</i>	389
<i>Note sur la reconstruction des arches des ponts sur la Seine, du chemin de fer de Rouen, par M. Lemoine, ancien ingénieur en chef du chemin de fer de Rouen, du Havre et de Dieppe.....</i>	403
<i>Note sur la pose, la manœuvre et l'entretien des signaux à distance.....</i>	409
<i>Transmission de mouvement.....</i>	409
Fil de fer.....	409

Ligatures	409
Piquets et poulies de support.....	410
Poulies pour déviation dans le sens horizontal	410
Supports et poulies doubles ou triples	411
Poulies pour déviation dans le sens vertical	411
Poulies de renvoi ou de traversée.....	411
Signal.....	412
Mât de signal	412
Lanterne.....	412
Miroir.....	412
Ecrans.....	414
Système de rappel. Fonctionnement de l'appareil.....	415
Voie fermée.....	415
Voie ouverte.....	415
Signaux à deux ou trois transmissions. Fonctionnement de l'appareil à deux ou trois transmissions.....	417
Transmissions à deux ou trois fils.....	417
Sonneries électriques.....	418
Pile.....	418
Élément de pile à ballon.....	418
Sonnerie.....	419
Circuit.....	420
Fonctionnement de la sonnerie.....	420
Sonneries des appareils à deux ou trois transmissions.....	421
Emplacement et pose de l'appareil.....	422
Distance à laquelle on doit placer les signaux.....	422
Signaux à droite.....	422
Signaux à gauche.....	422
Distance minimum du signal au rail.....	423
Emplacement du levier de rappel.....	423
Emplacement de la transmission.....	423
Emplacement de la manœuvre.....	424
Pose du signal.....	425
Pose du levier de rappel.....	426
Pose de la transmission.....	426
Emploi des poulies horizontales dans les courbes.....	428
Tableau indiquant la distance à observer dans les courbes entre deux poulies horizontales, le rayon de la courbe étant donné..	429
Emploi des poulies de renvoi.....	429
Pose du levier de manœuvre	430
Position des contre-poids de rappel et de manœuvre	430
Tableau indiquant le poids du contre-poids au levier de rappel, la distance du centre du contre-poids à l'axe, le poids du contre-poids du levier de manœuvre, la distance du centre du contre-poids à l'axe, la longueur de la transmission étant donnée.....	431
Tableau indiquant le changement de position à faire subir au contre-poids de rappel pour une inclinaison de 10, 15 et 20 millimètres, le changement de position à faire subir au contre-poids	

de manœuvre pour une inclinaison de 10, 15 et 20 millimètres, la longueur de la transmission étant donnée	431
<i>Transmissions souterraines</i>	432
<i>Pose des transmissions à deux ou trois fils</i>	432
<i>Peinture des appareils</i>	432

